République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Farès de Médéa



Faculté de technologie

Département du Génie Electrique

Mémoire de Fin d'étude de Master

Filière : télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Evaluation de Performance de la Technique d'Accès Multiple Non Orthogonal (NOMA)

Présenté par :

REZZIK Billal **YAICHE Yazid**

Proposé et Dirigé par :

Dr. KALACHE Mohamed Aissa

Promotion 2023

Remerciement

Tous d'abord nous tenons à remercie le bon **Dieu** *tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

Nous exprimons nos profondes gratitudes et respectueuses reconnaissances à notre encadrant Monsieur **Kalache Mohamed Aissa** *pour son encadrement, conseils et sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire de fin d'étude.*

Nous adressons nos sincère remerciements à tous les professeurs qui par leurs conseils et leurs efforts durant tous les années passées nous sommes là, vraiment un grand remerciement pour leurs qualité d'enseignement qui nous a été dispensé.



Dédicace



En témoignage d'amour et d'affection, Nous dédie ce modeste travail avec une grande fierté à tous ceux qui sont chers :

**nous très chère mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

** nous très cher père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

***Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à nous porté pour que nous somme puisse vous combler de bonheur.*



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes plus chers êtres au monde :

A mes chères parents : ma mère FATIMA et mon père ALI pour leur amour, leur tendresse,

Je dédie ce modeste travail à mes plus chers êtres au monde :

A mes chères parents : ma mère HANIFA et mon père MOHAMED pour leur amour, leur tendresse,

Résumé

La 5G est la dernière génération de réseaux cellulaires sans fil, elle est caractérisée par un débit et qualité de service parfaits plusieurs fois que les autres générations telles que (4G, 3G, 2G). Pour permettre à plusieurs utilisateurs d'accéder au même canal, on utilise les techniques d'accès multiples telles que : FDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA et NOMA. La 4G utilise l'OFDMA, qui divise le spectre en bandes de fréquence distinctes pour différents utilisateurs. Dans la 5G, on recherche d'autres techniques qui sont mieux que l'OFDMA, qui contient une efficacité spectrale plus grande que l'OFDMA. Pour celui-là, la 5G utilise la technique d'accès NOMA. L'objectif de ce travail est de simuler et comparer ces deux techniques d'accès (NOMA et OFDMA).

Les mots clés : 5G, 4G, 3G, 2G, OFDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA, NOMA

Abstract

5G is the latest generation of wireless cellular networks, it is characterized by perfect throughput and quality of service several times than other generations such as (4G, 3G, 2G).To allow several users to access the channel, access techniques such as: FDMA TDMA CDMA SDMA OFDMA and NOMA are used. The 4G used OFDMA which divides the spectrum into separate frequency bands for different users, in 5G we are looking for another technique that is better than OFDMA which contains a greater spectral efficiency than OFDMA. For this, the 5G use the NOMA access technique. The objective of this work is to simulate and compare these two access techniques (NOMA and OFDMA).

Key words: 5G, 4G, 3G, 2G, OFDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA, NOMA

الملخص

5G هو أحدث جيل لاسلكي جديد في الشبكات الخلوية التي تتميز بإنتاجية وجودة خدمة مثالية عدة مرات على الأجيال الأخرى مثل (4G 3G، 2G). للسماح للعديد من المستخدمين بالوصول إلى القناة ، يتم استخدام تقنيات الوصول مثل FDMA TDMA CDMA SDMA OFDMA و NOMA. يستخدم الجيل الرابع OFDMA الذي يقسم الطيف إلى نطاقات تردد منفصلة لمستخدمين مختلفين ، في الجيل الخامس، نبحث عن تقنية أخرى أفضل من OFDMA والتي تحتوي على كفاءة طيفية أكبر من OFDMA ، حيث يستخدم الجيل الخامس تقنية الوصول NOMA. الهدف من هذا العمل هو محاكاة و مقارنة تقنيات الوصول هاتين (NOMA و OFDMA).

الكلمات المفتاحية : 5G, 4G, 3G, 2G, OFDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA, NOMA

Table des matières

Liste des abréviations 1
Liste des figures 2
Liste des tableaux 3

Introduction Générale ***1***

Chapitre I Le réseau cellulaire de la 5ème génération ***3***

1.1. Introduction : ***4***

1.2. La Couche physique de la réseau cellulaire 5G : ***4***

I.2.1. Chaîne de transmission : ***4***

I.2.3. Avantages et inconvénients de l'OFDM : ***7***

I.2.4. Le codage de canal : ***8***

I.3. L'architecture de la 5G : **8**

I.3.1. Les services innovants : ***9***

I.3.2. La plate-forme de validation : ***9***

I.3.3. La radio Hyper -Connecté : ***10***

I.4. La norme de 5G : ***10***

I.5. Applications de la 5G : ***10***

I.6. Les avantages et les inconvénients [I.7] : ***11***

I.6.1. Les avantages du réseau 5G : ***11***

I.6.2. Les inconvénients du réseau 5G : ***12***

I.7. Conclusion : ***13***

Chapitre II Technique d'accès multiple ***14***

II.1. Introduction : ***15***

II.2. Frequency Division Multiple Access (FDMA): ***15***

II.2.1. Définition : ***15***

II.2.2. Les avantages : ***16***

II.2.3. Les inconvénients: ***17***

II.2.4. Applications de la FDMA: ***17***

II.3. Time division multiple Access (TDMA): ***17***

II.3.1. Définition : ***17***

II.3.2. Avantages et inconvénients de TDMA : ***19***

Avantages : ***19***

Inconvénients : ***19***

II.4 : Code Division Multiple Access (CDMA) : ***19***

II.4.1.Défénition : ***19***

II.4.2. Avantages et inconvénients du CDMA : ***21***

II.4.2.1. Avantages : ***21***

III.4.2.2. Inconvénients : ***21***

II.5. Space Division Multiple Access (SDMA) ***22***

II.5.1. Définition ***22***

II.5.2.Avantages de la technique SDMA ***22***

II.6: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) ***23***

II.6.1. Définition : ***23***

II.6.2. Allocation de sous-porteuse : ***24***

II.6.3. Émetteur : ***24***

II.6.4. Récepteur : ***26***

II.6.5. Avantage et Inconvénient : ***26***

II.6.5.2. Inconvénients : ***27***

II.7. Conclusion : ***27***

Chapitre III Technique d'accès multiple non orthogonal NOMA..... 28

III.1. Introduction : ***29***

III.2. Définition : ***29***

III.3. Le principe de base du travail NOMA : ***29***

III.4. Codage de superposition (SC) dans NOMA : ***30***

III.5. Annulation d'interférences successives (SIC) dans NOMA : ***31***

III.6. Liaison descendante NOMA (Down Link) : ***33***

III.7. Liaison montante NOMA (up Link) :..... ***34***

III.8. Efficacité spectrale et efficacité énergétique : ***35***

III.8.1. Efficacité spectrale :..... ***35***

III.8.2. Efficacité énergétique : ***35***

III.9. Application de NOMA ***36***

III.10. Avantage et inconvénient : ***37***

III.10.1. Avantage de NOMA : ***37***

III.10.2. Inconvénient de NOMA :..... ***37***

III.11. Conclusion : ***38***

Chapitre IV Résultats et discussions**.....*****39***

IV.1. Introduction : ***39***

IV.2. Performances de NOMA en liaison descendante : ***40***

IV.2.1. Représentation temporelle..... ***40***

IV.2.2. Représentation fréquentielle..... ***43***

IV.2.3. Analyse de BER :..... ***44***

IV.2.4. Conclusion ***46***

Conclusion Générale**.....*****47***

Références bibliographiques**.....*****49***

Liste des Abréviations

5G	Cinquième génération de réseaux mobiles
3G	Troisième génération de réseaux mobiles
AM	Amplitude Modulation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
CAS	Carrier Allocation Schèmes
CATV	Community Antenna Television
CDMA	Code Division Multiple Access
CIR	Channel Impulse Réponses
CP	Cyclique Préfixe
DFT	Transformation de Fourier Discrète du signal
DSP	Density Spectral De Puissance
DVB	Digital Vidéo Broadcasting
EE	Energetic Efficiency
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform

FM	Frequency Modulation
GSM	Global System for Mobile
ICAS	Interleaved Carrier Allocation Schèmes
ICI	Inter Carrier Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IoT	Internet of Things
ISI	Inters Symbol Interference
MAI	Multiple Access Interférence
MIMO	Multiple-Input , Multiple-Output
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	Orthogonal frequency-division multiple access
PAPR	Peak To Average Power
PCS	Personal Communications Service
PSK	Phase shift keying
QoS	Quality of service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keyin***g***
RF	Radio Fréquence
SC	superposition coding
SCAS	sub-band Carrier Allocation Schèmes
SDMA	Space Division multiple Access
SE	Spectral Efficacity
SIC	Successive Interference Cancellation

TDMA Time Division Multiple Access

UHD Ultra Haute Définition

UMTS Universal Mobile Télécommunications System

UP Uplink

VLC Visible light communications

Liste des figures

Figure I.1 : diagrame en bloc de la chaine de transmision OFDM 4

Figure I.2 : principe de la modulation OFDM 6

Figure I.3 : L'architecture de la 5G.. 8

Figure I.4 : Quelques applications de la 5G 11

Figure II.1 : Plusieur méthode d'accés 15

Figure II.2 : Accès Multiple par Répartition en Fréquence (FDMA) 16

Figure II.3 : Accès Multiple par Répartition Temporelle (TDMA) 18

Figure II.4 : schéma fonctionnel de mise en page pour TDMA 18

Figure II.5 : Accès Multiple par Répartition en Code (CDMA) 20

Figure II.6 : Accès Multiple par Répartition Spatiale (SDMA) 22

Figure II.7 : Accès Multiple par Répartition en Fréquence Orthogonal (OFDMA).. 24

Figure II.8 : Trois Schémas d'allocation de sous-porteuse 25

Figure II.9 : Diagramme block de la transmission descendante OFDMA 25

Figure II.10 : Diagramme block de la transmission montante OFDMA 25

Figure II.11 : Diagramme block émetteur récepteur OFDMA 26

Figure III.1 : Un schéma simplifié Explique le mécanisme de NOMA 30

Figure III.2 : Exemple de codage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signal superpose 31

Figure III.3 : Exemple de décodage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signal superpose 32

Figure III.4 : Schéma montrant le fonctionnement du SIC dans les récepteurs entre deux utilisateurs 33

Figure III.5 : Liaison descendante NOMA pour 2 utilisateurs. 34

Figure III.6 : Liaison montante NOMA pour 2 utilisateurs 35

Figure IV.1 : Schémas d'accès multiples pour deux utilisateurs NOMA et OFDMA 40

Figure IV.2 : Représentation temporel NOMA pour l'utilisateur 1 41

Figure IV.3 : Représentation temporel NOMA pour l'utilisateur 2..... 41

Figure IV.4 : Représentation temporel OFDMA pour l'utilisateur 1 42

Figure IV.5 : Représentation temporel OFDMA pour l'utilisateur 2 42

Figure IV.6 : Représentation Fréquentiel NOMA..... 43

Figure IV.7 : Représentation Fréquentiel OFDMA..... 44

Figure IV.8 : Le BER pour NOMA et OFDMA dans le canal AWGN 45

Figure IV.9 :Technique D'allocation sous-band OFDMA..... 45

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Paramètres de simulation NOMA et OFDMA pour deux utilisateurs (Domaine temporel). 41

Tableau IV.2 : Paramètres de simulation NOMA et OFDMA pour deux utilisateurs (BER). 44

Introduction Générale



Introduction générale

Le monde assiste en ce moment à un grand développement dans le domaine des réseaux et des communications mobiles, qui poussent les ingénieurs à s'efforcer d'innover de nouvelles technologies pour répondre aux demandes des clients en termes de rapidité et de disponibilité des service**s.** En fait, la technologie de cinquième génération était prévue, qui est elle-même la génération de la perturbation, qui n'est plus perdue pour le monde de la téléphonie mobile et des communications des opérateurs, mais s'est élargie à de nouvelles perspectives.

La technologie sans fil 5G et au-delà se développe à un rythme rapide et imaginatif, et c'est l'un des domaines de recherche de base pour les universités et autres. Les technologies d'accès multiples étaient un moyen que permette à plusieurs utilisateurs d'accès à la même station de base. Diffèrent génération, de la première à la quatrième utilisent les techniques d'accès multiple. Par exemple, l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) est utilisé pour 1G, l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) principalement pour la 2G, l'accès multiple par division de code (CDMA) pour la 3G et l'accès multiple par division de fréquence orthogonale (OFDMA) pour la 4G.

À l'avenir, les réseaux cellulaire 5G doivent prendre en charge des débits très élevés en termes de latence, de communications énormes, d'applications à haut débit, et pour répondre à ces exigences, une technologie améliorée et utile doivent être utilisée. Parmi cette technologie candidate figure la technologie d'accès multiple non-orthogonal (NOMA), qui est une technologie prometteuse qui peut augmenter la productivité du système.

Ce mémoire s'intéresse spécialement à la présentation et l'étude de technique d'accès multiples non-orthogonale pour la 5G. La NOMA est une technique récente qui permet de multiplexer plusieurs utilisateurs dans une sous-porteuse avec l'utilisation d'un nouveau principe qui est l'allocation de puissance. En plus, On simule les techniques d'accès OFMDA et NOMA sous le logiciel MATLAB, et On compare leur performances.

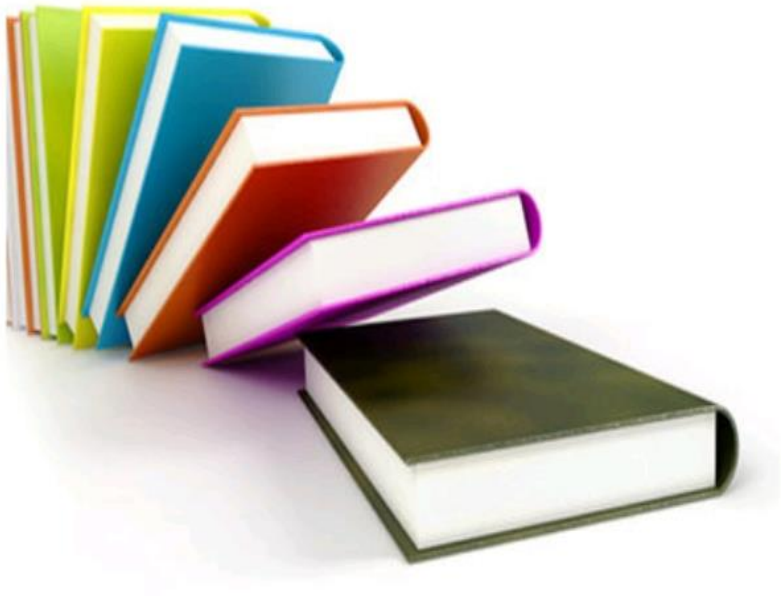
Pour ce faire, nous allons organiser notre travail en 4 chapitres :

- Tout d'abord, le premier chapitre introduit des généralités sur la cinquième génération, nous définissons ses techniques.

- Le deuxième chapitre présente les techniques d'accès multiples et expose les avantages et les inconvénients de ces techniques.
- Dans le troisième chapitre, nous effectuerons une étude générale et détaillée sur la technologie d'accès multiple non orthogonal (NOMA). Nous étudierons également la liaison montante et descendante, ainsi que certains concepts et relations mathématiques.
- Le dernier chapitre est réservé à l'évaluation des performances de NOMA sur la base de simulations conduites sous MATLAB ;
- Nous terminons par une conclusion générale suivie des perspectifs.

Chapitre I

Le réseau cellulaire de la 5ème génération



1.1.Introduction :

"5G" est la cinquième génération de technologies de réseau mobile. Il se caractérise par des vitesses plus élevées, une fiabilité améliorée et une latence plus faible que les précédentes générations de technologies cellulaires. Les réseaux 5G sont construits à partir d'une combinaison de technologies existantes et nouvelles, y compris OFDMA, MIMO. Les réseaux 5G sont conçus pour fournir un accès haut débit à Internet, ainsi que pour prendre en charge une variété d'applications et de services, tels que la réalité virtuelle et augmentée, les véhicules autonomes et l'Internet des objets (IoT). ce qui permet une utilisation plus efficiente du spectre.

1.2. La Couche physique du réseau cellulaire 5 G :

Dans la couche physique des réseaux 5G, la modulation utilisée est la modulation OFDM, la transmission OFDM est un bloque important dans les réseaux cellulaires.

I.2.1. Chaîne de transmission :

Le diagramme en bloc de la chaîne de transmission OFDM est représentée en figure 1. **[I.1]**

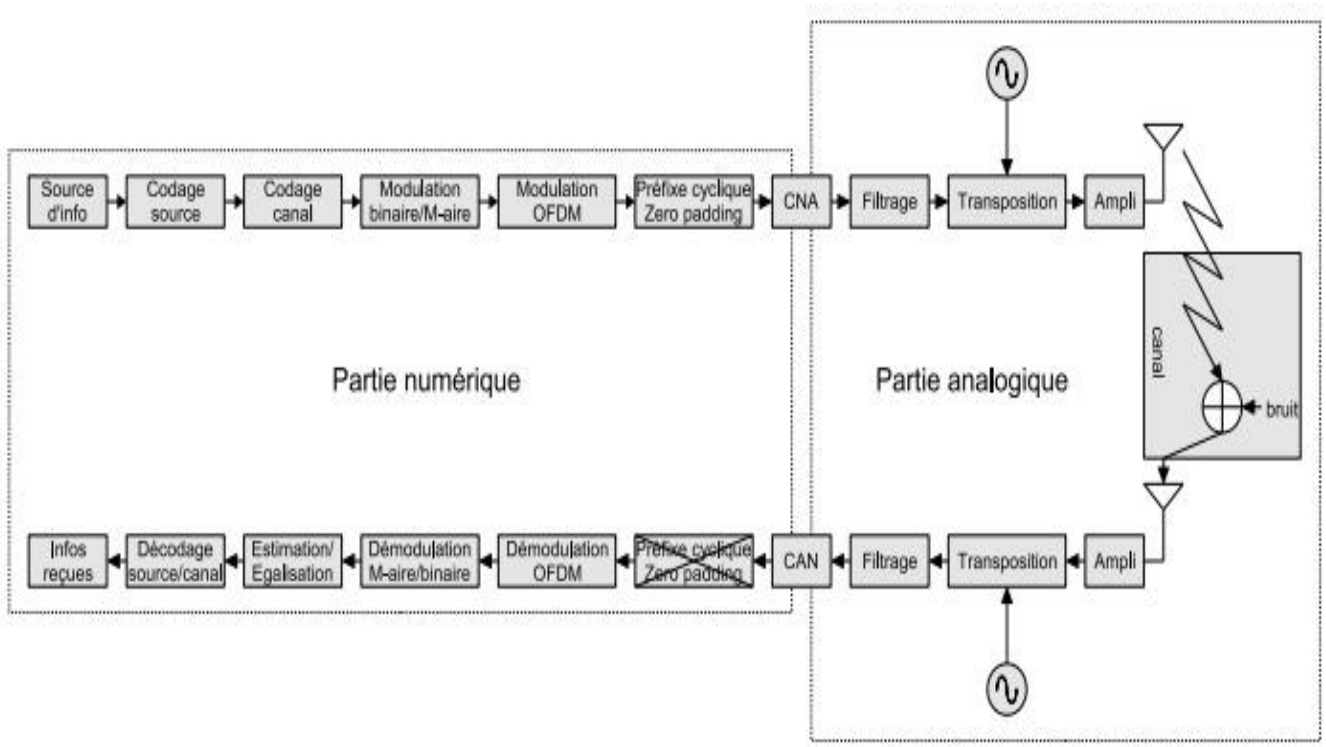


Figure 1 : diagramme en bloc de la chaine de transmission OFDM.

- **Partie numérique [I.1] :**

Source d'information : À ce stade, des capteurs interviennent pour convertir les informations sur leur forme physique (ondes sonores, lumière, chaleur, etc.) en signaux électriques. Le signal électrique est ensuite converti en une séquence de bits d'information.

Codage source : cette étape se charge d'enlever la redondance dans les bits d'information et d'effectuer une compression des données.

Codage canal : ce codage consiste à ajouter une redondance pour protéger les bits d'information contre des éventuels parasites introduits par le canal.

Modulation binaire/ M- aire : des symboles d'information sont générés suivant un alphabet donné (BPSK, QPSK, M-PSK, QAM-16...etc.), en modifiant l'amplitude et/ou la phase des symboles en fonction des paquets de bits d'information.

Modulation OFDM : Modulation multi-porteuses comprenant une conversion série/parallèle, une IDFT et une conversion parallèle/série

Démodulation OFDM : l'opération duale de la modulation est réalisée grâce à la DFT.

Estimation et Égalisation : la dispersion du canal est estimée grâce à des symboles connus du récepteur. Les symboles reçus affectés par le canal sont ensuite compensés.

Démodulation M- aire/binaire : les symboles reçus sont reconvertis en paquets de bits.

Décodage canal et décodage source : Cette étape supprime les redondances ajoutées au spectacle et corrige certaines erreurs. Les données sont ensuite décompressées en insérant des redondances qui ont été supprimées lors de l'encodage de la source de transmission.

Informations : les données sont transformées de forme électrique en forme physique.

- **Partie analogique [I.3] :**

Filtrage : le but principal de ce filtrage est de supprimer les répétitions du spectre obtenues lors de la conversion numérique/analogique.

Transposition : La translation de fréquence est effectuée pour transporter le signal en bande de base autour de la fréquence porteuse. Cette conversion est obtenue à l'aide d'un mélangeur et d'un ou plusieurs oscillateurs locaux.

Amplificateur de puissance : pour assurer la détection du signal émis au niveau de récepteur il faut l'amplifier avant de le transmettre, pour qu'il puisse résister l'atténuation du canal.

Antenne d'émission : le signal électrique est transformé en une onde électromagnétique qui se propage dans espace libre.

Canal de propagation : Un canal correspond à l'environnement physique dans lequel se propagent les ondes de signal ; dans le cas des communications mobiles, ce support est l'air. Il introduit diverses distorsions telles que l'effet Doppler ou l'effet multi trajet.

I.2.2. Principe de la modulation OFDM :

Le principe de la modulation OFDM consiste à distribuer les données numériques sur un nombre prédéterminé de sous-porteuses ayant toutes la même largeur de bande et étant orthogonales les unes aux autres, contrairement à la modulation mono porteuse qui implique la transmission de données en série sur toutes les bandes de fréquences disponibles. Ensuite, les données sont transmises simultanément à travers des sous-ports utiles situés dans la bande. L'exigence d'orthogonalité permet d'empêcher que les sous-porteuses ne se perturbent mutuellement à la suite d'interférences. Les données sont regroupées par symboles. Un symbole OFDM est une séquence de $\mathbb{N}$ symboles numériques répartis sur $\mathbb{N}$ sous-porteuses orthogonales. Soit $\{f\,x\}$ l'ensemble des $\mathbb{N}$ sous-porteuses considérées pour la modulation OFDM tel que [**I.2**] :

$$fx = f_0 + k\frac{1}{Ts}\ , \quad 0 \le k \le N-1 \tag{I.1}$$

Ou *Ts* représenter la durée d'un symbole OFDM.

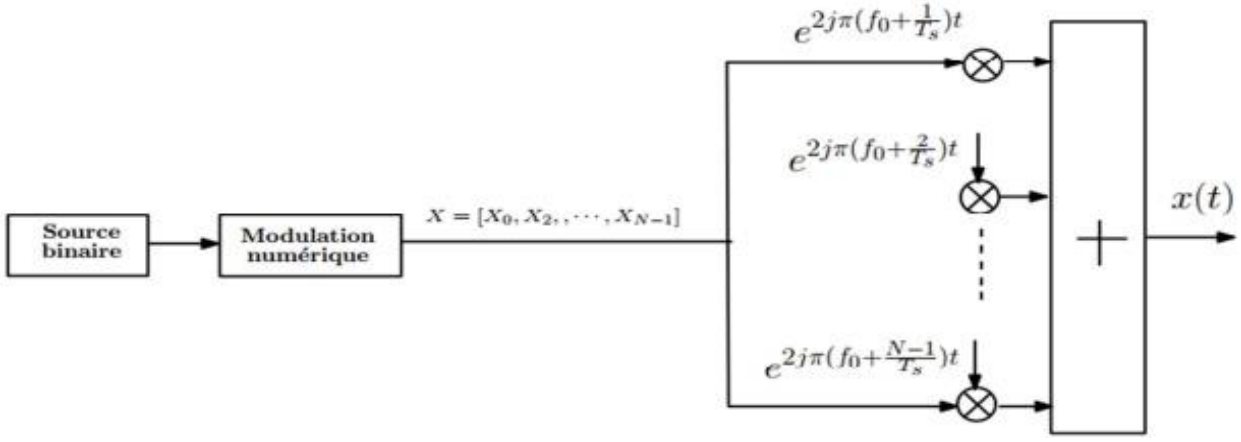


Figure I.2 : principe de la modulation OFDM [I.3].

La **figure 2** montre le principe de la modulation OFDM, Sur cette figure, les données à transmettre sur les *N* sous-porteuses sont regroupées par séquence de *N* symboles avant d'effectuer la modulation OFDM. En effet, soit X = [$X_0, \ldots, X_k, \ldots X_{n-1}$] une séquence de *N* symboles complexes à transmettre. Chaque symbole X_k est un nombre complexe généralement obtenu à partir d'une modulation numérique par exemple de type QAM. Le *k* ième symbole X_k module la *k* ième sous-porteuse fx. L'enveloppe complexe du signal *X*(t), correspondant à

l'ensemble des N symboles ré -assemblés **[I.3],** est la représentation temporelle du signal OFDM tel que :

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \, e^{2j\pi f x t} \text{ , } 0 <= t < T_s \qquad \text{(I.2)}$$

I.2.3. Avantages et inconvénients de l'OFDM :

L'OFDM présente les avantages suivants :

Dans OFDM, plusieurs symboles peuvent être transmis en parallèle, tout en maintenant une efficacité spectrale élevée car le canal radio est divisé en de nombreux sous-canaux ou sous-porteuses à bande étroite, à faible débit, non sélectifs en fréquence.

- Chaque sous-porteuse peut fournir des informations à un utilisateur différent, ce qui donne lieu à un schéma d'accès multiple simple appelé accès multiple par répartition orthogonale en fréquence (OFDMA).
  Cela permet de transmettre différents médias tels que la vidéo, les graphiques, la parole, le texte ou d'autres données au sein de la même liaison radio, en fonction des types spécifiques de services et de leurs exigences de qualité de service (QoS) [I.4].
- De plus, dans les systèmes OFDM, différents schémas de modulation peuvent être employés pour différentes sous-porteuses ou même pour différents utilisateurs. Par exemple, les utilisateurs proches de la station de base peuvent avoir une qualité de canal relativement bonne, ils peuvent donc utiliser des schémas de modulation d'ordre élevé pour augmenter leurs débits de données. En revanche, pour les utilisateurs éloignés de la station de base ou desservis dans des zones urbaines à forte charge, où la qualité des sous-porteuses devrait être médiocre, des schémas de modulation d'ordre inférieur peuvent être invoqués [I.4].

Cependant, l'OFDM présente quelques inconvénients. On distingue [I.4] :

- Un problème est l'augmentation associée du rapport de puissance crête à moyenne (PAPR) par rapport aux systèmes à porteuse unique, nécessitant une large plage linéaire pour l'amplificateur de sortie de l'émetteur OFDM [I.4].
- De plus, l'OFDM est sensible au décalage de fréquence porteuse, ce qui entraîne un ICI [I.4].
- Pas idéal pour les téléphones portables, mais bien pour les ordinateurs portables avec des batteries plus grosses qui n'envoient pas de données en continu [I.4].
- Transmitter and receiver must be linear to preserve shape [I.4].

I.2.4. Le codage de canal :

Lors de la phase de transmission sur le canal, les informations peuvent être perdues pour le récepteur. Dans de remédier à cela et d'améliorer la qualité de la transmission, il devient alors nécessaire d'utiliser un codage correcteur d'erreur. Dans un codage de canal, on introduit de la redondance dans le message à transmettre, suivant une loi donnée. Cette redondance permet au récepteur de reconstituer sous certaines conditions les informations perdues lors de la transmission et cela grâce à la corrélation qui les lie aux informations correctement reçues. Ce procédé est appelé COFDM. Les codes utilisés pour effecteur l'opération de codage de canal se classent dans le cas général en deux catégories : les codes en blocs et les codes convolutifs. Pour le premier, on associe à chaque bloc de *Ne* d'information, le codeur *Ns* bits codés. Le codage d'un bloc est indépendant des précédents. Pour le second, à Ne bits d'information le codeur associe *Ns* bits codés, mais différemment du cas précédent, le codage d'un bloc de *Ne* bits dépend pas seulement du bloc présent mais également de tous les blocs précédents. Le rendement du code est défini par le rapport R = (*Ne/Ns*) < 1. Le codeur introduit donc de la redondance qui se traduit par une augmentation du débit d'un facteur 1/ entre l'entée et la sortie du codeur. [I.3]

I.3. L'architecture de la 5G :

L'architecture de la 5G est très avancée, ses éléments de réseau et divers terminaux sont typiquement mis à niveau pour permettre une nouvelle situation. De même, les fournisseurs de services peuvent mettre en œuvre la technologie avancée pour adopter facilement les services à valeur ajoutée.

En conséquence, il se compose de trois Éléments principales :



Figure I.3 : L'architecture de la 5G.

I.3.1. Les services innovants :

C'est la couche supérieure, il contient les services 5G innovants. Ces services, basés sur les différentes capacités de l'infrastructure 5G, peuvent offrir aux utilisateurs une expérience immersive et hautement fiable. De manière unique, les services qui offrent des expériences utilisateur virtuelles telles que le streaming de vidéos et d'hologrammes incluront de plus en plus de contenu vidéo très haute définition (UHD, Ultra Haute Définition). En outre, la haute fiabilité et la bande passante fournies par la 5G faciliteront le lancement de services de contrôle de robot à distance et de services pour l'Internet des objets **[I.6].**

I.3.2. La plate-forme de validation :

La couche intermédiaire d'un réseau 5G consiste en un réseau qui se trouve à côté d'un service axé sur l'infrastructure et a pour fonction de créer des valeurs de service significatives et ciblées pour soutenir la couche supérieure de « services innovants » en transformant correctement les éléments mécaniques et déconnectés. Pour mener à bien cette tâche, il utilise deux technologies clés qui représentent l'avenir des télécommunications : la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et les réseaux de réseaux définis par logiciel (SDN), qui virtualisent l'infrastructure et les services pour offrir une plus grande flexibilité et intelligence au niveau du réseau **[I.6].**

- **Le SDN** (Software Défined Network) a pour objectif de dissocier la partie contrôle d'un réseau de sa partie opérationnelle, ces deux parties étant traditionnellement liées et distribuées (de manière figée) dans le réseau (cf. figure ci-dessous). Le contrôle du réseau, autrefois dévolu à des composants matériels spécialisés et non évolutifs, est centralisé sous forme de logiciels sur des serveurs plus puissants et affranchis (en théorie) des spécifications des équipementiers. Cela permet le déploiement de services à forte valeur ajoutée (équilibrage de charge, routage intelligent, configuration dynamique…) dans des environnements hétérogènes **[I.7].**
- **Cloud RAN :** cette fonctionnalité, connue aussi sous le nom de centralized -RAN, implique une architecture réseau très différente de ce qui se fait actuellement. C'est une évolution du SDN : les unités de traitement du signal des stations de base, actuellement placées au niveau de la station elle-même, sont déportées dans le cloud et centralisées ; elles communiquent avec les têtes de réseau, situées au plus proche de l'antenne, via un réseau fibre optique (technologie Radio over fibre). Cette centralisation permet une vision d'ensemble de toutes les stations déployées et de coordonner le traitement de signal et la gestion des interférences entre cellules et terminaux **[I.7]**.

- **NFV :** L'objectif de NFV, compagnon du SDN, est de virtualiser, c'est-à-dire de remplacer par un logiciel s'exécutant sur un serveur, le matériel spécialisé utilisé pour certains commutateurs et routeurs clés (pare-feu, concentrateurs réseau, interfaces entre différents systèmes, etc.) afin pour accélérer les déploiements et permettre des changements rapides.

I.3.3. La radio Hyper -Connecté :

C'est la couche inférieure qui fournit de manière efficace et transparente une quantité importante d'informations à la couche intermédiaire, ou "plate-forme d'activation". Cette couche comprend de nouvelles technologies de réseau qui sont étudiées par des organismes de recherche en raison du trafic massif et des exigences de latence strictes **[I.6].**

I.4. La norme de 5G :

Après l'IMT-2000 (pour la 3G) et l'IMT-Advanced (4G), voici l'IMT-2020. On l'aura compris, cette nomenclature définie par l'Union Internationale des Télécoms (UIT) vise à faire le lien entre les télécommunications mobiles mondiales (IMT pour International Mobile Télécommunication) et les technologies qui construiront les communications sans fil à partir de 2020. Autrement dit, à désigner l'ensemble des normes de la 5G. Un choix arrêté lors d'une récente réunion de travail (Working Party 5D) de l'ITU-R (le secteur radiocommunications de l'UIT) dans le prolongement du programme « IMT for 2020 and beyond » qui, dès 2012, commençait à réunir les travaux effectués dans le monde autour de la 5G **[I.5].**

I.5. Applications de la 5G :

Le 5G est la cinquième génération de technologies de télécommunication mobile qui promet une vitesse de transmission de données plus rapide, une plus grande capacité de réseau et une latence plus faible que les technologies précédentes. Les applications du 5G sont nombreuses et variées et incluent :

- **Téléphonie mobile** : Le 5G permet des appels plus rapides et plus stables, ainsi qu'une meilleure qualité de l'audio et de la vidéo.
- Internet des objets (IoT) : Le 5G peut connecter un nombre plus important d'appareils, ce qui en fait une solution idéale pour les objets connectés, tels que les smart homes, les capteurs industriels, les véhicules connectés, etc.

- **Réalité virtuelle et augmentée** : Le 5G permet des expériences de réalité virtuelle et augmentée plus fluides et plus réactives en raison de la latence réduite.
- **Streaming de contenu en temps réel :** Le 5G peut prendre en charge des vidéos à haute définition en temps réel sans interruption ou retards.
- **Santé** : Le 5G peut offrir des solutions de télémédecine plus fiables et plus rapides, en permettant des consultations à distance et une analyse des données médicales en temps réel.
- **Industrie :** Le 5G peut être utilisé pour connecter les machines industrielles et les systèmes de contrôle, améliorant ainsi l'efficacité, la sécurité et la productivité.
- **Voitures autonomes** : Le 5G peut être utilisé pour connecter les véhicules autonomes, améliorant ainsi la communication entre les véhicules et les systèmes de contrôle de la circulation, ainsi que la qualité des données utilisées pour la navigation.
- **Maisons intelligentes :** Le 5G permettra une connectivité plus fiable pour les objets connectés dans les maisons intelligentes, ce qui facilitera la gestion de l'énergie, la sécurité et le confort.

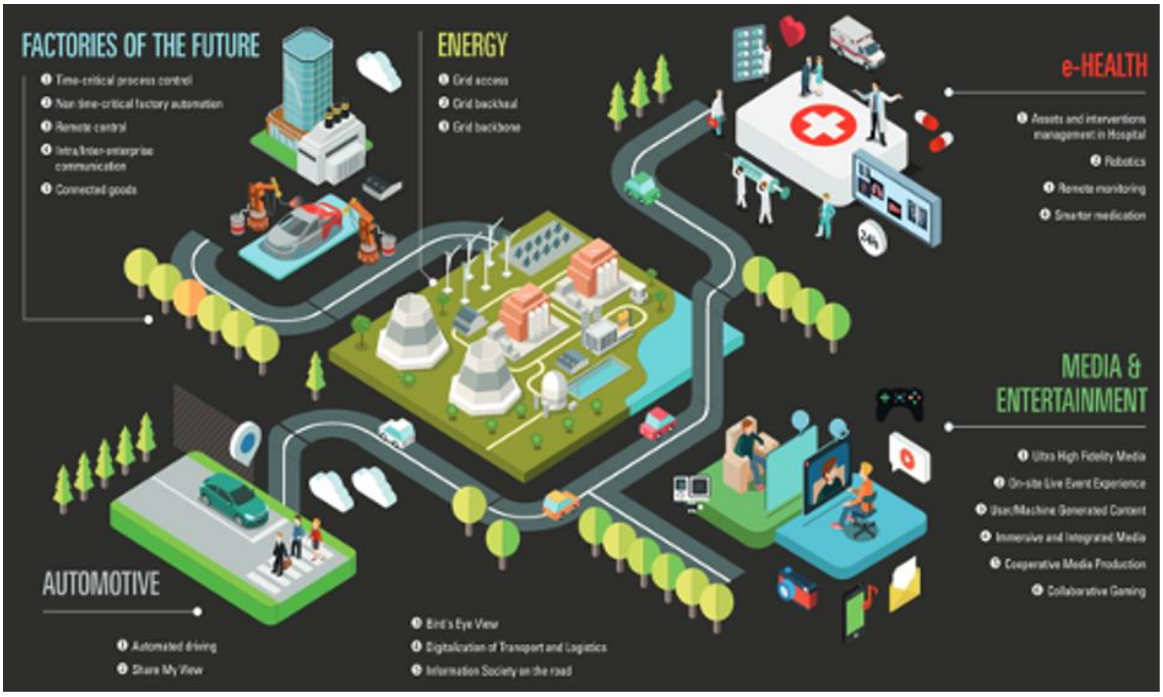


Figure I.4 : Quelques applications de la 5G **[I.8].**

I.6. Les avantages et les inconvénients [I.7] :

I.6.1. Les avantages du réseau 5G :

La 5G est la cinquième génération de réseaux mobiles et elle apporte plusieurs avantages par rapport aux réseaux antérieurs. Voici quelques-uns des principaux avantages de la 5G :

- **Vitesse élevée :** La 5G offre des débits de données beaucoup plus rapides que les réseaux précédents. Cela signifie que vous pouvez télécharger et télécharger des fichiers plus rapidement, même lorsque vous êtes en déplacement.
- **Latence réduite :** La latence est le temps qui s'écoule entre l'envoi et la réception d'une demande. La 5G a une latence beaucoup plus faible que les réseaux précédents, ce qui signifie que les applications en temps réel, telles que les jeux en ligne, fonctionneront beaucoup mieux.
- **Meilleure couverture :** La 5G peut couvrir de plus grandes distances et s'adapter aux besoins de plus de personnes dans des zones densément peuplées.
- **Connexions plus fiables :** La 5G est conçue pour être plus fiable que les réseaux précédents, ce qui signifie que les coupures de réseau seront moins fréquentes.
- **Mieux adapté aux objets connectés :** La 5G est conçue pour prendre en charge une plus grande quantité d'objets connectés, tels que les appareils domestiques intelligents, les véhicules autonomes, etc.
- **Possibilité de nouvelles applications** : La 5G offre de nouvelles possibilités pour les applications et les services en ligne, en raison de ses vitesses de données plus rapides et de sa latence plus faible.

I.6.2. Les inconvénients du réseau 5G :

Il existe plusieurs inconvénients potentiels associés à la technologie 5G :

- **Coût élevé :** La mise en place de réseaux 5G nécessite un investissement important en matériel et en infrastructure, ce qui peut entraîner des coûts élevés pour les consommateurs finaux.
- **Interférences avec les autres appareils :** Les ondes de radio émises par les réseaux 5G peuvent interférer avec d'autres appareils électroniques, notamment les drones, les avions sans pilote et les dispositifs médicaux.

- **Limitations de couverture :** La couverture du réseau 5G peut être limitée dans certaines régions en raison de la complexité de la technologie et des coûts associés à la mise en place d'infrastructures.
- **Préoccupations de sécurité** : Certaines personnes s'inquiètent des effets potentiels de la 5G sur la santé et la sécurité en raison de la puissance accrue des ondes radio utilisées.

- **Incompatibilité avec les appareils existants :** Les appareils existants ne sont pas toujours compatibles avec la technologie 5G, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires pour les consommateurs qui souhaitent mettre à niveau leur équipement.
- **Besoins en énergie accrus :** Les réseaux 5G nécessitent un nombre accru de stations de base et d'équipements pour maintenir leur couverture, ce qui peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

I.7. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons rappelé les principales caractéristiques de réseaux de télécommunications 5G et expliquant son architecture ses caractéristique ainsi que ses avantages, nous avons également abordé la couche physique de OFDM. Dans le chapitre suivant nous allons faire les techniques d'accès multiple FDMA, TDMA, CDMA SDMA et OFDMA.

Chapitre II
Les Techniques d'accès multiple



II.1. Introduction :

Les techniques d'accès multiple permettent pour plusieurs utilisateurs d'accéder a un canal commun. L'espace du signal divisé par le temps, la fréquence et le code : TDMA, FDMA, CDMA. En plus que de ces méthodes on a le SDMA et l'OFDMA. **[II.11]**

L'analogie de l'autoroute à plusieurs voies (Figure II.1) donne l'exemple simple de plusieurs méthodes d'accès telles que SDMA, FDMA et TDMA. Dans cette figure, le milieu est l'autoroute, les utilisateurs sont des voitures et les interférences sont dues à des accidents. **[II.1]**

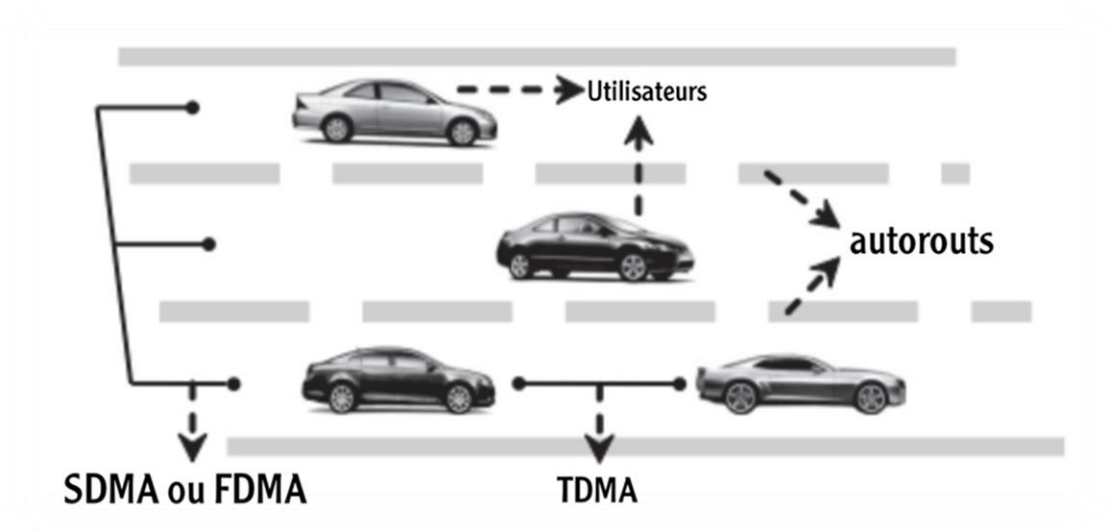


Figure II.1 : Plusieurs méthodes d'accès **[II.1]**

II.2. Frequency Division Multiple Access (FDMA):

II.2.1. Définition :

Avec l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA), toute la bande de fréquence disponible est divisé en bandes dont chacune dessert un seul utilisateur. Chaque utilisateur est ainsi équipé avec un émetteur pour une bande de fréquence donnée, prédéterminée, et un récepteur pour chaque bande

Le principal avantage de FDMA est sa simplicité - il ne nécessite aucune coordination ou synchronisation entre les utilisateurs puisque chacun peut utiliser sa propre bande de fréquence sans interférence. Ceci, cependant, est également la cause du gaspillage, surtout lorsque la charge est momentanément inégale, car lorsqu'un utilisateur est inactif, sa part de la bande passante ne peut pas être utilisée par d'autres utilisateurs. Il convient de noter que si les utilisateurs ont des

demandes inégales à long terme, il est possible de diviser la gamme de fréquences de manière inégale, c'est-à-dire proportionnelle aux demandes**. [II.2][II.3]**

Le nombre de canaux, *N* pouvant être pris en charge simultanément dans le système FDMA est donné par :

$$N = \frac{Bt-2Bg}{Bc} \qquad \text{(II.1)}$$

Où *Bt* est le spectre de fréquence alloué, *Bg* est la bande de garde allouée à la limite du spectre de fréquences, et *Bc* est la bande passante du canal **[II.1].**

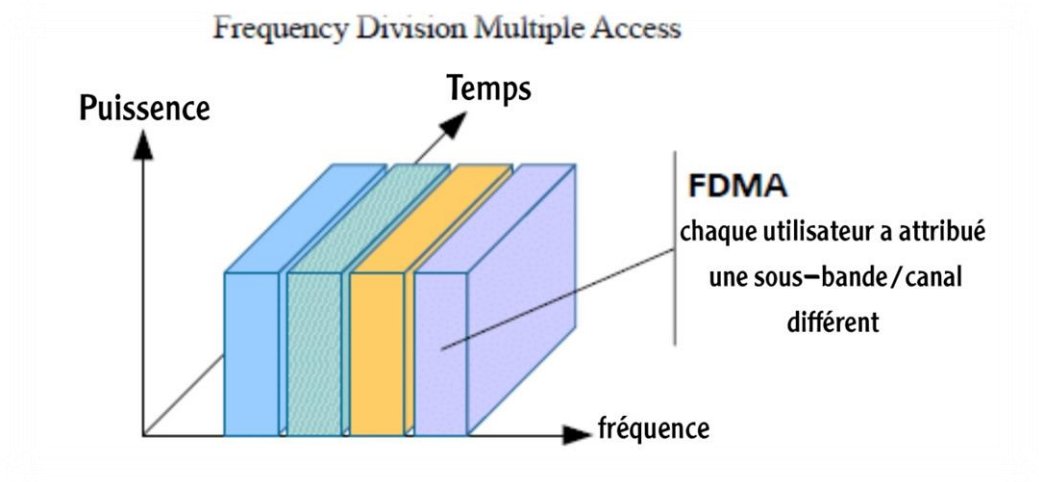


Figure II.2 : Accès Multiple par Répartition en Fréquence (FDMA) **[II.8]**

II.2.2. Les avantages :

1. Un schéma de transmission continue, et donc de moindre complexité que le schéma TDMA,

par exemple : les exigences de synchronisation ne sont pas sévères

2. Simple à mettre en œuvre d'un point de vue matériel, car plusieurs utilisateurs sont isolés par utilisant des filtres passe-bande simples

3. Assez efficace avec une petite population de base et lorsque le trafic est constant

4. Aucune égalisation de canal requise

5. La capacité peut être augmentée en réduisant le débit binaire des informations et en utilisant un schéma de codage de la parole

II.2.3. Les inconvénients:

1. Si un canal FDMA n'est pas utilisé, il reste inactif et ne peut pas être utilisé par d'autres utilisateurs pour augmenter ou partager la capacité. Par conséquent, la mise en œuvre FDMA devient une utilisation inefficace de spectre.

2. FDMA nécessite un filtrage RF strict pour minimiser les interférences des canaux adjacents.

3. La planification du réseau et du spectre est intensive.

4. La planification des fréquences prend du temps.

II.2.4. Applications de la FDMA:

1. Les talkies-walkies et les réseaux mobiles pour les groupes d'utilisateurs fermés utilisent souvent FDMA.

2. Un autre exemple de FDMA est la radiodiffusion AM ou FM, où chaque station a son propre canalisé

3. La téléphonie cellulaire ancienne utilisait principalement la transmission analogique FDMA. **[II.1]**

II.3. Time division multiple Access (TDMA):

II.3.1. Définition :

Dans le schéma d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), l'axe du temps est divisé en time slots, prés affectés aux différents utilisateurs. Chaque utilisateur est autorisé à transmettre librement pendant le slot qui lui est attribué, c'est-à-dire que pendant le slot attribué, toutes les ressources du système sont consacrées à cet utilisateur. Les attributions de slots suivent un modèle prédéterminé qui se répète périodiquement ; chacune de ces périodes est appelée un cycle ou une trame. Plus général les schémas TDMA dans lesquels plusieurs slots sont attribués à un utilisateur dans une trame, appelés TDMA généralisés, sont examinés dans la section suivante. Notez que pour le bon fonctionnement d'un schéma TDMA, les utilisateurs doivent être synchronisés pour que chacun sache exactement quand et pendant combien de temps il peut transmettre. **[II.2]**

Nombre de canaux/Time slot dans le système TDMA.

$$N = \frac{M(Bt - 2Bg)}{Bc}$$

M est le nombre d'intervalles de temps par canal de porteuse ou le nombre maximum d'utilisateurs TDMA pris en charge sur chaque canal radio et *Bg* est la bande de garde à présenter à l'utilisateur au bord de la bande **[II.1].**

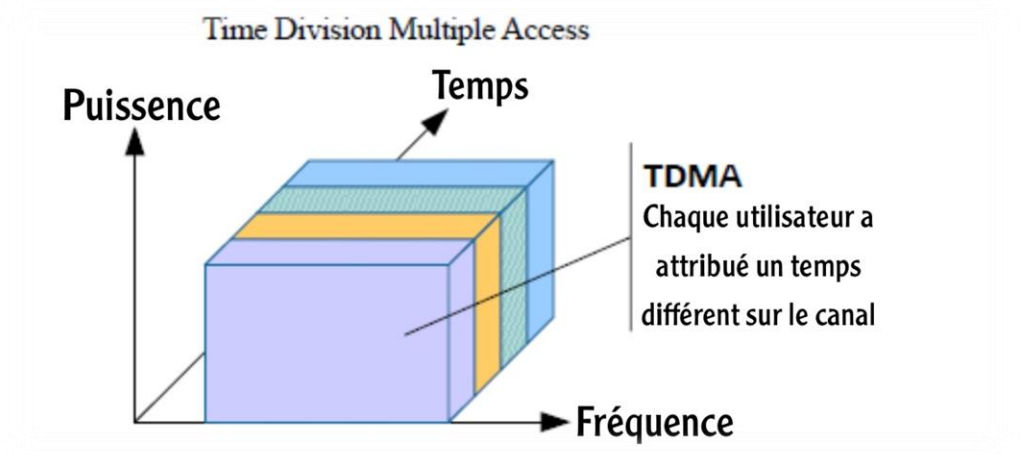


Figure II.3 : Accès Multiple par Répartition Temporelle (TDMA) **[II.8]**

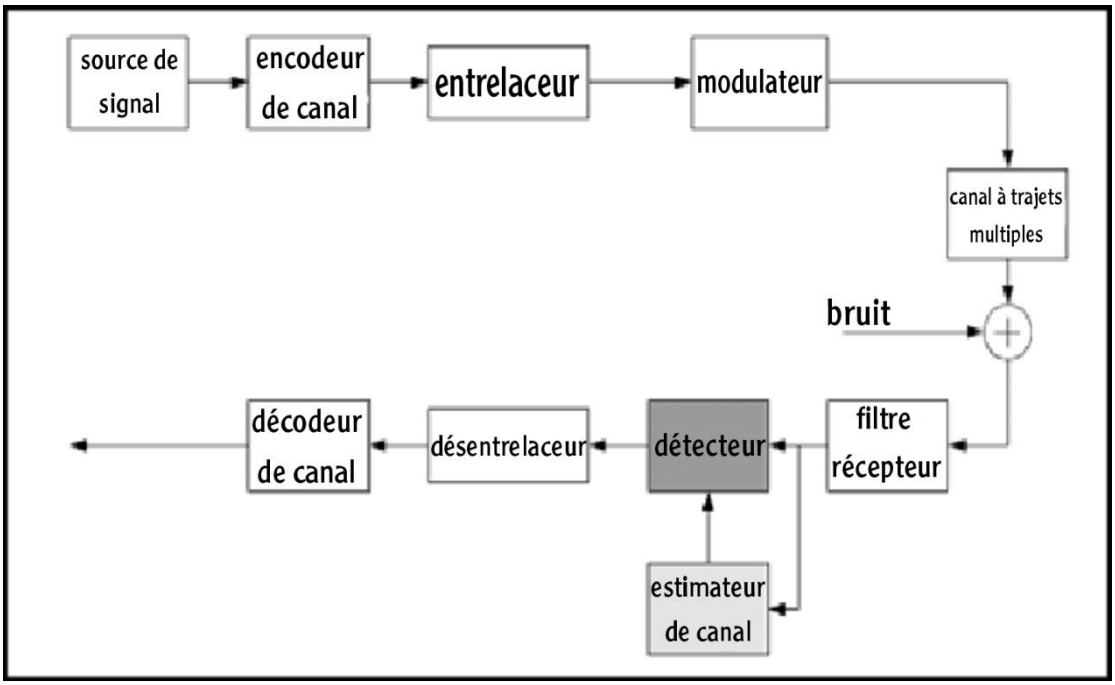


Figure II.4 : schéma fonctionnel de mise en page pour TDMA **[II.5]**

LA figure II.4 montre une disposition de simulation générique pour un système mobile basé sur TDMA, qui exploite les opérations d'estimation de canal et de détection de signal dans l'égalisation. La source numérique est généralement protégée par un codage de canal et entrelacée contre le phénomène d'évanouissement, après quoi le signal binaire est modulé et transmis sur un canal d'évanouissement à trajets multiples. Un bruit additif est ajouté et le signal

de somme est reçu. En raison du canal à trajets multiples, il y a une certaine interférence entre symboles (ISI) dans le signal reçu. Par conséquent, un détecteur de signal doit connaître les caractéristiques de réponse impulsionnelle du canal (CIR) pour assurer une égalisation réussie (suppression de l'ISI). Notez que l'égalisation sans estimation de canal séparé. Après détection, le signal est désentrelacé et le canal décodé pour extraire le message d'origine. **[II.5].**

II.3.2. Avantages et inconvénients de TDMA :

Avantages :

• La transmission de données se fait en rafales discrètes :

-Autonomie prolongée de la batterie sur FDMA et temps de conversation

-Le processus de transfert est plus simple, car il est capable d'écouter d'autres stations de base pendant les plages horaires d'inactivité

• Utilisation plus efficace du spectre par rapport au FDMA :

-Acceptera plus d'utilisateurs dans le même espace spectral qu'un système FDMA qui améliore la capacité dans les zones à fort trafic, telles que les grandes zones métropolitaines

-Utilisation efficace des structures cellulaires hiérarchiques - pico, micro et macro cellules

• Étant donné que différents emplacements sont utilisés pour la transmission et la réception, les duplexeurs ne sont pas nécessaires

Inconvénients :

• TDMA nécessite une synchronisation. Si la synchronisation du créneau horaire est perdue, les canaux peuvent entrer en collision les uns avec les autres.

• La planification du réseau et du spectre est intensive.

• Des appels interrompus sont possibles lorsque les utilisateurs entrent et sortent de différentes cellules.

• Coûts plus élevés dus à une plus grande sophistication de l'équipement.

• L'égalisation est nécessaire, car les débits de transmission sont généralement très élevés par Canaux FDMA. **[II.1]**

II.4 : Code Division Multiple Access (CDMA) :

II.4.1.Défénition :

Le CDMA est la troisième technique d'accès multiple utilisée dans les systèmes cellulaires. CDMA permet des transmissions pour occuper toute la bande passante en même temps sans interférence. (**Figure II.5**). Le CDMA utilise la technique du spectre étalé pour augmenter l'efficacité du spectre par rapport au FDMA actuel et systèmes TDMA

La technologie cellulaire CDMA est à l'origine connue sous le nom d'IS-95, qui est en concurrence avec le GSM technologie pour dominer le monde cellulaire. Les systèmes cellulaires CDMA fonctionnent dans le Bandes PCS 800 MHz et 1,9 GHz. QUALCOMM est le développeur de l'interface radio CDMA utilisé dans les systèmes cellulaires. Comparé aux systèmes cellulaires GSM, le CDMA nécessite moins de tours cellulaires et fournit jusqu'à cinq fois la capacité d'appel. CDMA fournit également plus de 10 fois le trafic vocal du système analogique antérieur (AMPS) et constitue la base de la transmission de données 3G pour les opérateurs GSM. **[II.1]**

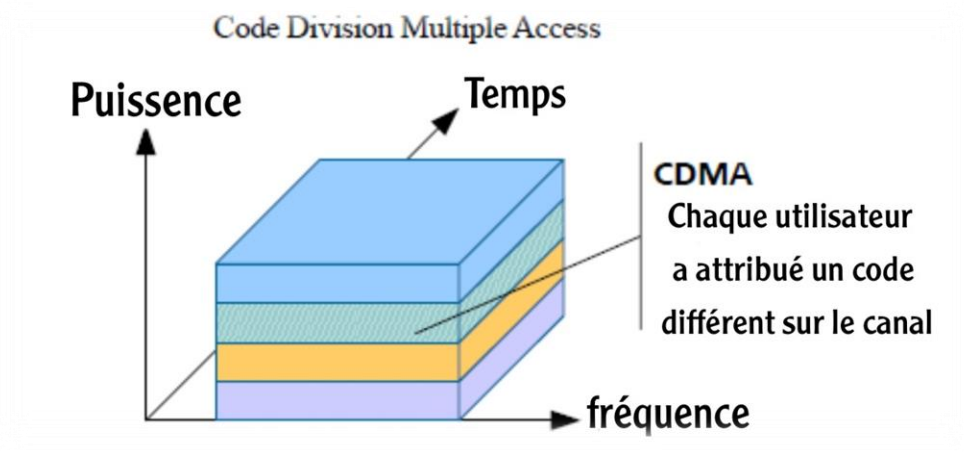


Figure II.5: Accès Multiple par Répartition en Code (CDMA) **[II.8]**

Un système CDMA utilise une famille de codes orthogonaux c'est-à-dire des codes satisfassent des propriétés d'inter corrélation et d'autocorrélation afin de réduire les interférences d'accès multiple (MAI). Les séquences de codes sont constituées de *N* éléments nommés "Chips" au niveau de l'émetteur et du récepteur.

L'étalement de spectre est une des techniques avantageuses mises en avant pour l'utilisation du CDMA dans le domaine des communications RF. En effet, la puissance du signal utile est aplatie sur toute la bande de fréquence disponible. De ce fait plusieurs caractéristiques découlent :

- L'émission est noyée dans le bruit ; les applications à ce niveau sont d'ordre militaire.

• Une interférence en bande étroite verra son spectre étalé par l'opération de dés-étalement et sa densité spectrale de puissance (DSP) diminuée d'autant ; son influence sera alors extrêmement réduite.

• Une interférence en large bande, même de DSP supérieure au signal utile verra aussi son spectre étalé et sa DSP diminuée au niveau du récepteur, alors que le signal utile subira l'opération inverse.

• Lorsque le signal hertzien se propage sur des trajets multiples, les différents échos reçus au niveau du récepteur peuvent être vus comme une perturbation large bande, n'étant pas synchronisé avec la séquence du récepteur, ils subiront un étalement **[II.4].**

II.4.2. Avantages et inconvénients du CDMA :

II.4.2.1. Avantages :

• Efficacité spectrale la plus élevée : la capacité augmente d'environ 8 à 10 fois celle d'un système analogique système et 4 à 5 fois celle des autres systèmes numériques, ce qui le rend plus utile en haute zones de trafic avec un grand nombre d'utilisateurs et un spectre limité.

• Le CDMA améliore la qualité des appels en filtrant les bruits de fond, la diaphonie et les interférences.

• « Soft handoffs » : du fait des multiples diversités d'utilisation, les handoffs entre cellules sont non détecté par l'utilisateur

• Les codes Walsh aléatoires améliorent la confidentialité des utilisateurs ; un avantage de spectre étalé.

• Le contrôle précis de l'alimentation augmente le temps de conversation et la durée de vie de la batterie des téléphones portables.

III.4.2.2. Inconvénients :

• Les techniques de rétrocompatibilité sont coûteuses.

• Actuellement, l'équipement coûte cher.

• Difficile à optimiser pour maximiser les performances.

• Les zones à faible trafic entraînent une utilisation inefficace des ressources du spectre et des équipements [**II.1]**

II.5. Space Division Multiple Access (SDMA)

II.5.1. Définition

En plus des domaines de fréquence, de temps et de code, la dimension spatiale peut également être utilisée pour le multiplexage de différents flux de données en transmettant les flux de données sur différents, canaux de transmission sans chevauchement. L'utilisation du multiplexage spatial pour plusieurs l'accès est appelé SDMA.

SDMA permet aux utilisateurs de partager simultanément la même bande passante dans différentes zones géographiques emplacements. SDMA résout le problème de capacité des systèmes de communication sans fil par exploitation de la dimension spatiale qui permet d'identifier les utilisateurs individuels, même lorsqu'ils sont dans les mêmes domaines temps/fréquence/code.

SDMA peut être réalisé en utilisant formation de faisceaux ou sectorisation (figure II.6) **[II.1]**

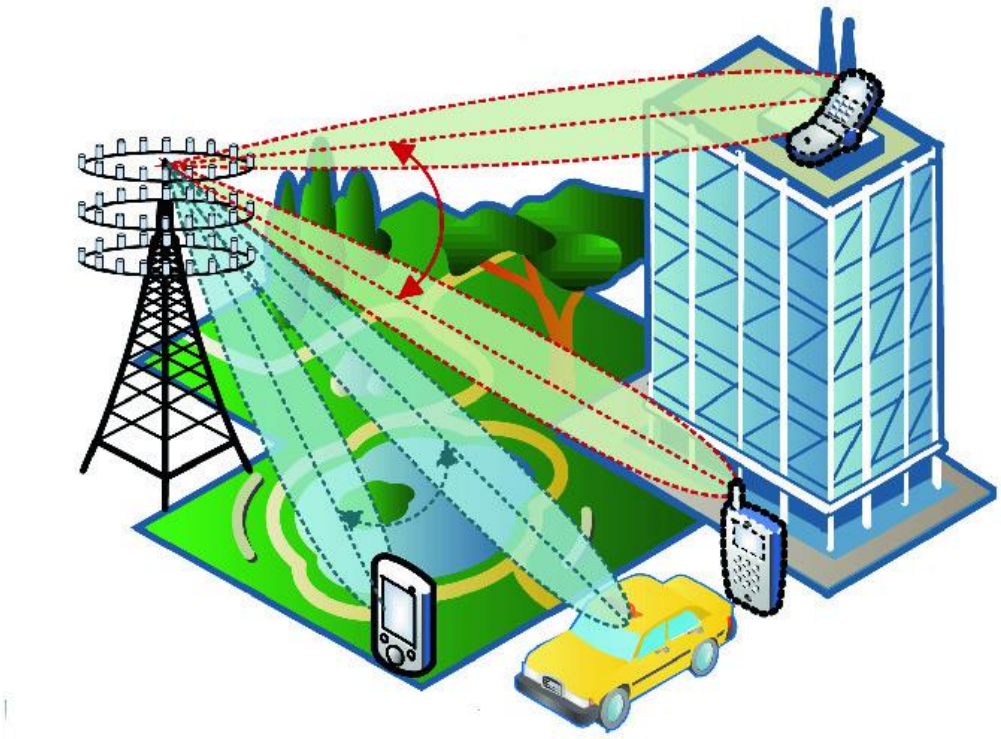


Figure II.6: Accès Multiple par Répartition Spatiale (SDMA) **[II.9]**

II.5.2.Avantages de la technique SDMA

1. Extension de portée : la zone de couverture du réseau d'antennes est supérieure à celle de n'importe quel élément en raison du gain fourni par le tableau. Lorsqu'un système est construit en utilisant SDMA, le nombre de cellules nécessaires pour couvrir une zone donnée peut être considérablement réduit.

2. Suppression des interférences : interférences provenant d'autres systèmes et d'utilisateurs dans d'autres cellules est considérablement réduit en exploitant les réponses impulsionnelles de canal uniques de l'utilisateur souhaité (CIR). Dans les zones « bruyantes » où la portée est limitée par les interférences, transmission spatialement sélective et la réception entraînent une extension de la portée.

3. Élimination de l'effet multi trajet : les copies du signal souhaité qui sont arrivées à l'antenne après avoir rebondi sur des objets entre la source du signal et l'antenne peut souvent être atténuée. Dans certains cas, le multi trajet peut effectivement être utilisé pour renforcer la signal.

4. Augmentation de capacité : L'augmentation de capacité peut se faire de deux manières :

• Les schémas de réutilisation des canaux dans les systèmes cellulaires peuvent être beaucoup plus étroits car l'interférence moyenne résultant des signaux co-canaux dans d'autres cellules est nettement réduite (par exemple, passer d'un modèle de réutilisation à 7 cellules à un modèle de réutilisation à 4 cellules double presque la capacité).

• Des canaux spatiaux séparés peuvent être créés dans chaque cellule sur le même canal conventionnel.

En d'autres termes, la réutilisation intracellulaire des canaux conventionnels est possible **[II.1]**

II.6: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

II.6.1. Définition :

L'OFDMA est une simple extension de l'OFDM dans un environnement multi-utilisateur. Le concept de l'OFDMA a été introduit pour la première fois pour envoyer des informations en amont des locaux de l'abonné à la tête de réseau du câble dans les réseaux CATV.

L'OFDMA est devenu populaire en 2002, lorsqu'il a été adopté comme l'interface hertzienne pour les normes émergentes IEEE 802.16e pour les réseaux métropolitains sans fil.

Elle a été largement acceptée comme l'une des techniques d'accès multiple les plus prometteuses et est donc adopté dans une large gamme de systèmes, tels que l'IEEE 802.20 qui est censé être la véritable technologie sans fil mobile à haute capacité et haute mobilité, radio large bande ETSI réseaux d'accès, les communications par satellite multi-utilisateurs et le réseau cellulaire de quatrième génération réseau.

La structure de sous-porteuse OFDMA peut prendre en charge une large gamme de bandes passantes, en ajustant FFT taille à la bande passante du canal tout en fixant l'espacement des

fréquences de la sous-porteuse. Ainsi, l'unité de base des ressources physiques est fixe et l'impact sur les couches supérieures est minimisé. Cette évolutivité est l'une des les avantages les plus importants offerts par l'OFDMA et permet une flexibilité de déploiement.

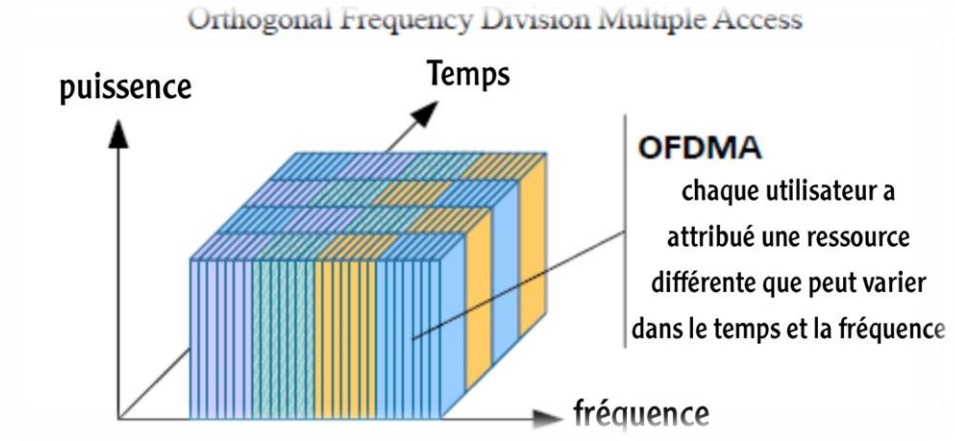


Figure II.7: Accès Multiple par Répartition en Fréquence Orthogonal (OFDMA) **[II.8]**

II.6.2. Allocation de sous-porteuse :

Le principe de l'OFDMA est de diviser les sous-porteuses disponibles en plusieurs groupes mutuellement exclusifs (c'est-à-dire des sous-bandes) selon les stratégies d'allocation de sous-porteuse. Ensuite, chaque groupe de sous-porteuses est attribué à un utilisateur pour une transmission simultanée.

Trois schémas d'allocation de porteuse (*Carrier Allocation Schemes, CAS*) couramment utilisés sont illustrés à la Figure II.8. Dans le système **CAS sous-bande** (*Sub-band,* **CAS**), toutes les sous-porteuses de chaque utilisateur sont regroupées et donc les signaux peuvent être facilement séparés par des bancs de filtres. Cependant, ce schéma n'exploite pas la fréquence la diversité et un évanouissement profond peuvent affecter un nombre substantiel de sous-porteuses d'un utilisateur donné. **L'entrelacé CAS** (*Interleaved*, **ICAS**) résout ce problème en allouant des sous-porteuses avec des espacements uniformes. Cependant, il a encore restriction sur l'allocation des ressources. La méthode la plus flexible et la plus souhaitable est appelée **CAS généralisée**, qui permet aux utilisateurs de sélectionner les meilleures sous-porteuses disponibles pour transmettre leurs informations, et ainsi exploite pleinement la diversité des fréquences des canaux et offre une grande flexibilité dans l'allocation des ressources. **[II.7]**

II.6.3. Émetteur :

Au niveau de l'émetteur du système OFDMA, les N sous-porteuses globales sont attribuées à K utilisateurs selon un CAS spécifique. La séquence de données de chaque utilisateur est divisée en

blocs de longueur M. Le M symboles de données dans chaque bloc sont modulés sur leurs sous-porteuses correspondantes.

Pour la transmission en liaison descendante, les autres sous-porteuses du bloc de longueur N sont modulées avec des données des autres utilisateurs. Le bloc de longueur N résultant est envoyé au modulateur OFDM classique, c'est l'IFFT à N points. Un seul CP est alors ajouté devant le symbole OFDM avant il est transmis sur K canaux à K utilisateurs différents. Un schéma de l'émetteur de liaison descendante est illustré à la figure II.9.

Contrairement à l'émetteur de liaison descendante, chaque émetteur de liaison montante a laissé les autres sous-porteuses vides. Le bloc de longueur N résultant avec M entrées non nulles est envoyé à un IFFT à N points, suivi de l'insertion d'un CP distinct avant qu'il ne soit transmis par un canal distinct à la station de base (BS).

Le schéma de l'émetteur de liaison montante OFDMA est illustré à la figure II.10. **[II.7]**



Figure II.8 : Trois schémas d'allocation de sous-porteuse **[II.7]**

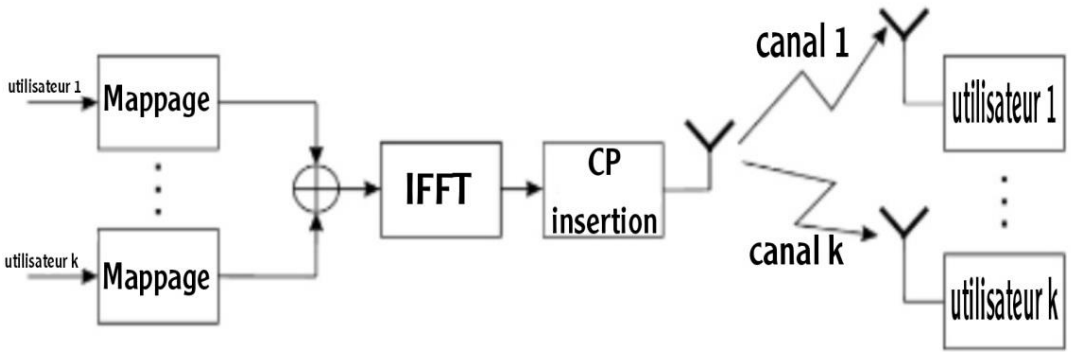


Figure II.9 : Diagramme block de la transmission descendante OFDMA **[II.7]**

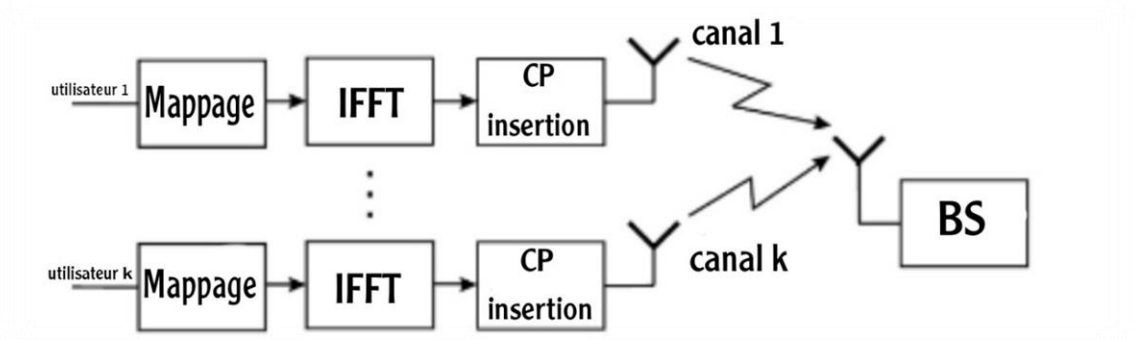


Figure II.10: Diagramme block de la transmission montante OFDMA **[II.7]**

II.6.4. Récepteur :

Au niveau du récepteur, après suppression du CP, les N échantillons restants sont transmis à une FFT à N points. Un L'un des avantages notables de l'OFDMA est qu'il convertit efficacement un large éventail d'évanouissements sélectifs en fréquence canal dans un ensemble de canaux parallèles à évanouissement plat.

En utilisant une banque de multiplicateurs à un robinet, un pour chaque sous-porteuse. La sortie de l'égaliseur est alors utilisée pour la détection des données. Pour la transmission en liaison descendante, chaque utilisateur ne capte que les symboles de données M transmis sur ses sous-porteuses attribuées pour l'égalisation de canal et la détection de données. Pour la liaison montante, le signal reçu à la BS est la superposition des signaux de tous les utilisateurs actifs, qui passent par différents canaux et subissent des décalages de fréquence et des retards de propagation différents. Signaux de différents utilisateurs ne peuvent être séparés qu'après avoir corrigé les décalages des utilisateurs individuels. Ainsi, tous les paramètres doivent être estimés conjointement, ce qui rend la synchronisation de la liaison montante OFDMA un problème très difficile. Cependant, il doit être effectué avec précision avant que la détection des données puisse être effectuée. **[II.7]**

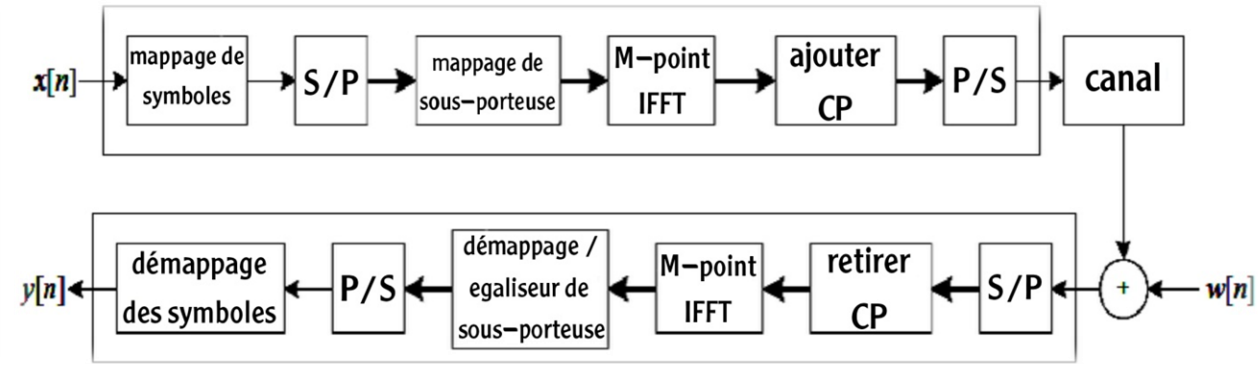


Figure : II.11 : Diagramme block émetteur récepteur OFDMA **[II.10]**

II.6.5. Avantage et Inconvénient :

II.6.5.1. Avantage :

- Une meilleure gestion du spectre du fait de l'orthogonalité quasi-totale des sous-porteuses, autorisant une fine séparation entre-elles ;

- Une grande diversité de fréquences en répartissant les sous-porteuses sur tout le spectre disponible ;

- Les intervalles de garde limitent les interférences inter-symboles dues au multi-trajets.

- Des débits de données élevés.

II.6.5.2. Inconvénients :

- Le problème de PAPR (peak to average power radio) qui représente le rapport entre la valeur maximale de la puissance électrique transmise et la puissance moyenne transmise, et qui se présente sous forme d'une fluctuation importante de l'enveloppe du signal OFDM ;

- Grande sensibilité aux décalages de fréquence qui causent des interférences inter porteuses (Inter Carrier Interférences ICI), responsables d'une forte dégradation des performances du réseau ;

- Grande sensibilité au bruit de phase (le bruit de modulation de fréquence).**[II.4]**

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes techniques d'accès multiple tel que : FDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA) et nous donnant leurs avantages et inconvénients. Le TDMA utilise une division temporelle sur seul bande de fréquence pour allouer plusieurs utilisateurs. Par contre, le FDMA utilise une division des bandes de fréquence au même temps. L'OFDMA permet de diviser les sous-porteurs de la transmission OFDM sur les utilisateurs. On peut remarquer que l'efficacité spectrale de l'OFDMA mieux que FDMA.

Chapitre III
Technique d'accès multiple non orthogonal NOMA



III.1. Introduction :

La plupart des réseaux de systèmes cellulaires utilisent les technologies OMA, notamment TDMA, FDMA, CDMA et OFDMA.

Dans ce contexte, et à partir des développements dans le monde, NOMA a été proposé comme l'un des candidats pour les technologies multi-accès au-delà des réseaux 5G qui sont offerts, dans ce chapitre, nous aborderons l'explication de la technologie NOMA, ou nous définirons d'abord cette technologie et son principe de fonctionnement et Nous définissons également le codage de superposition (SC) et l'annulation d'interférences successives (SIC), et autre.

III.2. Définition :

Le système d'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une technique de transmission de données sans fil qui permet à plusieurs utilisateurs de partager une même ressource spectrale dans le domaine temporel, en utilisant différentes allocations de puissance pour chaque utilisateur.

Contrairement à l'accès multiple par répartition orthogonale de fréquence (OFDMA), qui divise le spectre en bandes de fréquence distinctes pour différents utilisateurs, NOMA utilise la superposition de signaux dans le même spectre pour différents utilisateurs. Cette technique permet une utilisation plus efficace de la bande passante, en permettant à plusieurs utilisateurs de partager une même fréquence et d'accéder simultanément à la ressource spectrale.

III.3. Le principe de base du travail NOMA :

NOMA est actuellement un sujet de recherche brûlant pour les systèmes 5G et au-delà NOMA la technologie est l'une des technologies les plus prometteuses, qui fournissent une capacité de système élevée, une faible latence et une connectivité massive, pour relever de nombreux défis dans les systèmes sans fil 5G et au-delà. NOMA dépend essentiellement du fait de servir plusieurs utilisateurs en même temps en tirant parti des différences de gain de canal pour permettre aux utilisateurs de partager les mêmes ressources de temps et de fréquence pour améliorer leur connexion. Cela permet un certain degré d'interférence au niveau des récepteurs. NOMA exploite SC à l'émetteur et SIC au récepteur, multiplexant ainsi utilisateurs dans le domaine de l'alimentation. Comme la montre la figure III.1, la station de base (BS) envoie les signaux à deux utilisateurs, où l'utilisateur 1 a un gain de canal plus élevé que l'utilisateur 2. Dans NOMA, l'utilisateur avec un gain de canal plus élevé et l'utilisateur avec un gain de canal plus faible sont généralement appelés l'utilisateur fort et l'utilisateur faible, respectivement. L'utilisateur fort soustrait d'abord le signal de l'utilisateur faible via SIC, puis décode son propre

signal ; l'utilisateur faible considère le signal de l'utilisateur fort comme bruit et détecte son propre signal directement. Avec un gain de canal plus faible et plus interférence, l'utilisateur faible se voit attribuer plus de pouvoir dans NOMA pour assurer l'équité **[III.1].**

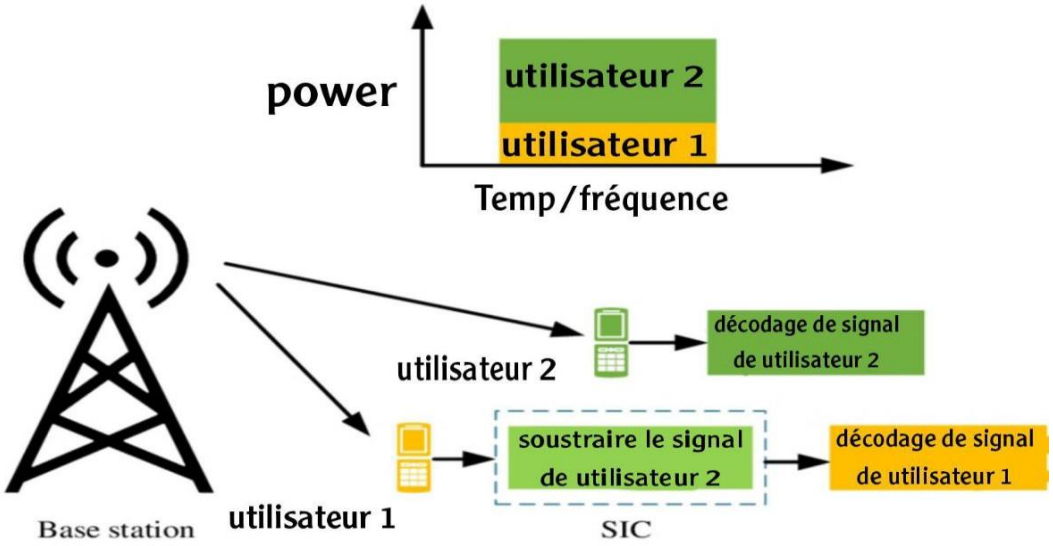


Figure III.1: Un schéma simplifié Explique le mécanisme de NOMA **[III.2].**

Par exemple, nous avons BS envoyant des signaux aux utilisateurs dans les mêmes ressources, Le bilan énergétique totale est le suivant :

$$Pt = P1 + P2 \qquad \text{(III.1)}$$

Pt : énergie totale, $P1$: énergie de utilisateur 1, $P2$: énergie de utilisateur 2

III.4. Codage de superposition (SC) dans NOMA :

Le CS est une technique de communication simultanée informations à plusieurs récepteurs par une seule source. En d'autres termes, il permet à l'émetteur de transmettre les informations de plusieurs utilisateurs en même temps. Des exemples de communications de manière superposée comprennent la diffusion d'un signal de télévision vers plusieurs récepteurs et la prise de parole devant un groupe de personnes d'horizons et d'aptitudes différents, comme une conférence dans une salle de classe.

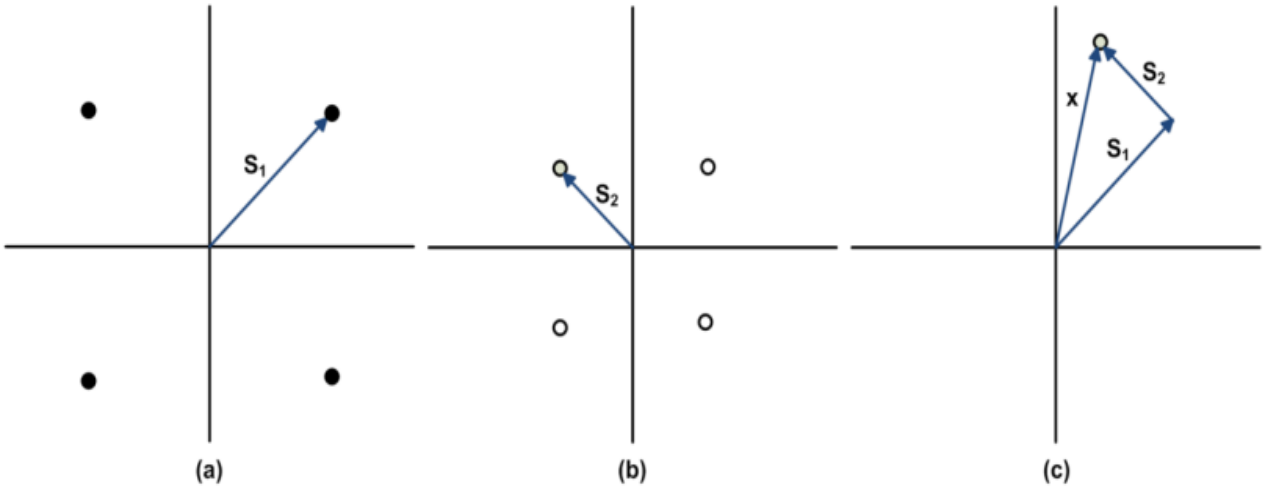


Figure III.2: Exemple de codage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signal superpose **[III.3].**

Supposons qu'un professeur donne des informations aux étudiants par le biais d'un cours magistral en classe. Puisqu'il existe des différences entre les qualités et les antécédents des étudiants, certains d'entre eux reçoivent la plupart des informations, et d'autres n'en reçoivent qu'une petite partie. Le cours magistral peut être organisé de manière à ce qu'il se déroule au rythme de l'étudiant ayant le bagage le plus faible. Cependant, dans la situation idéale, le cours magistral peut être conçu de manière à ce que les étudiants ayant la formation la plus appropriée obtiennent plus d'informations et que les étudiants pauvres obtiennent au moins le minimum d'informations. Cette situation est un exemple d'un canal de diffusion où une conférence superposée est donnée par l'orateur. Pour rendre SC pratique, l'émetteur doit coder les informations pertinentes pour chaque utilisateur. Par exemple, pour un scénario à deux utilisateurs, l'émetteur devra contenir deux codeurs point à point qui mappent leurs entrées respectives sur des séquences à valeurs complexes du signal à deux utilisateurs. Afin de montrer comment SC est exécuté, un diagramme schématique est donné à la Figure III.2, où la constellation de modulation par déplacement de phase en quadrature (QPSK) de l'utilisateur 1 avec une puissance de transmission plus élevée est superposée à celle de l'utilisateur 2 avec une puissance de transmission plus faible. On peut mentionner que SC est un schéma non orthogonal reconnu qui atteint la capacité sur un canal de diffusion gaussien scalaire **[III.3].**

III.5. Annulation d'interférences successives (SIC) dans NOMA :

Pour décoder les informations superposées au niveau de chaque récepteur, Cover a proposé la technique SIC. SIC est concevable en exploitant les spécifications sur les différences de la puissance du signal entrent **[III.4].**

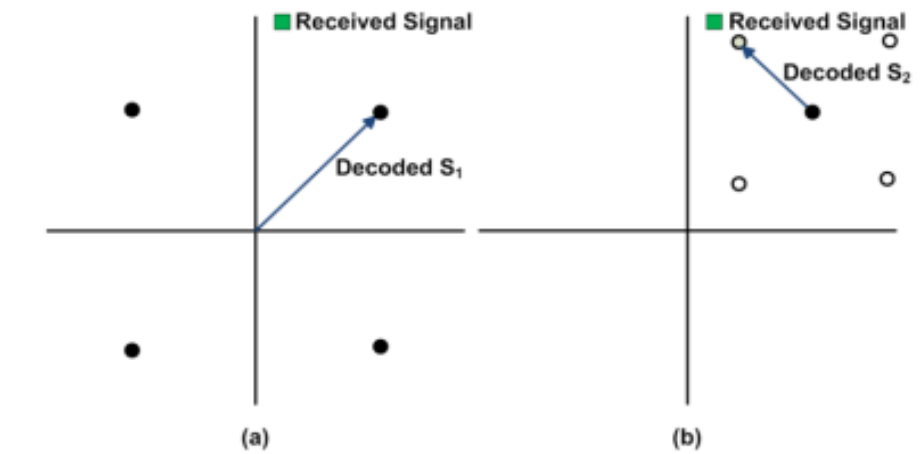


Figure III.3: Un exemple de décodage SC (a) décodant le signal de l'utilisateur 1 (b) décodant le signal de l'utilisateur 2[**III.3**].

Le principe SIC est de décoder en premier le signal de l'utilisateur fort (proche de la BS) tandis que les autres signaux sont considérés comme des interférences, puis il va le recoder et le soustraire du signal superposé. La même opération est répétée jusqu'à ce qu'il arrive à décoder le signal qu'il veut avoir [**III.5**].

Pour décoder les informations superposées au niveau de chaque récepteur, la technique SIC est proposée. SIC est concevable en exploitant les spécifications sur les différences de puissance du signal entre les signaux d'intérêt. L'idée de base du SIC est que les signaux des utilisateurs sont successivement décodés. Une fois le signal d'un utilisateur décodé, il est soustrait du signal combiné avant le signal de l'utilisateur suivant est décodé. Lorsque SIC est appliqué, l'un des signaux d'utilisateur est décodé, traitant l'autre signal d'utilisateur comme un brouilleur, mais ce dernier est ensuite décodé au profit du signal du premier ayant déjà été supprimé. Cependant, avant SIC, les utilisateurs sont classés en fonction de la puissance de leur signal, de sorte que le récepteur puisse d'abord décoder le signal le plus fort, le soustraire du signal combiné et isoler le plus faible du résidu. Notez que chaque utilisateur est décodé en traitant les autres utilisateurs brouilleurs comme du bruit lors de la réception du signal. La figure II.2 présente la technique de décodage du signal superposé du côté de la réception. Ici, le point de constellation de l'utilisateur 1 qui est le plus fiable est d'abord décodé à partir du signal reçu. Ensuite, le décodage du point de constellation de l'utilisateur 2 qui est le plus fort est effectué par rapport au point de constellation décodé de l'utilisateur 1[**III.3**].

La figure suivante montre comment fonctionne SIC :

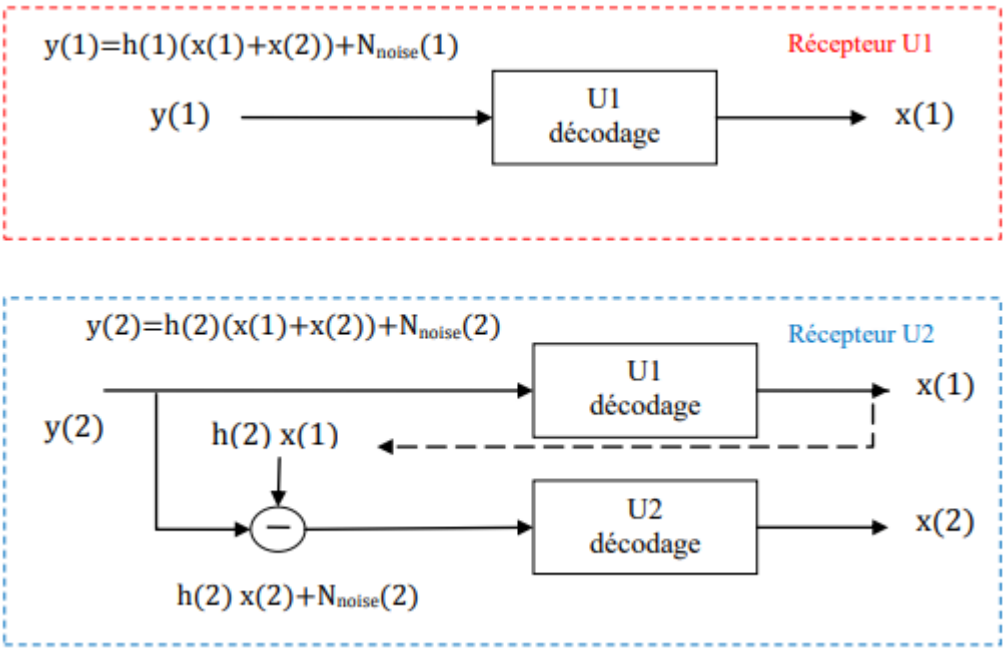


Figure III.4: Schéma montrant le fonctionnement du SIC dans les récepteurs entre deux utilisateurs **[III.6].**

En utilisant l'exemple à deux utilisateurs représentés sur la Figure III.4 et en supposant que les utilisateurs sont dans l'ordre croissant en fonction de leur gain de canal, l'utilisateur avec la pire condition de canal (appelé utilisateur 1) utilise le rapport sur bruit et décode ses données du signal reçu. D'autre part, l'utilisateur avec le meilleur canal (désigné comme utilisateur 2) exécute SIC car il décode d'abord les données des autres utilisateurs, puis les annule du signal reçu. Le signal reçu dont les interférences ont été supprimées est ensuite utilisé pour décoder des données pour cet utilisateur.

III.6. Liaison descendante NOMA (Down Link) :

La figure II. 4 présente un système NOMA simple composé d'un seul BS et de deux utilisateurs, chacun équipé avec une seule antenne. Supposons que et sont les signaux à transmettre de la BS à utilisateurs 1 et 2, respectivement. La BS transmet le signal codé de superposition comme :

$$X = \sqrt{p1x1} + \sqrt{p2x2}\,, \qquad \text{(III.2)}$$

Où $Pi\,, i = 1, 2$, est la puissance d'émission de l'utilisateur et le signal de message, $xi\,, i = 1\,,2$,est de l'unité power, c'est-à-dire $E\ \{\ |xi|^2\}$ = 1, avec $E\ \{\cdot\}$ est l'opérateur d'espérance. La puissance d'émission totale des utilisateurs 1 et 2 choisir par la station de base peuvent alors s'écrire $p = p1 + p2$, avec $P_1 \gg P_2$ ou $P_2 \gg P_1$. En pratique, pour un paramètre système particulier, p est prédéfinie et est donc divisée en $p1$ et $p2$ selon

l'allocation de puissance adoptée (PA) schème. Le signal reçu à l'utilisateur peut être représenté par :

$$yi = hiX + wi\,, \qquad \text{(III.3)}$$

Où hi est le gain de canal entre la BS et l'utilisateur i et wi représente le bruit Gaussien s avec la densité spectrale de puissance Nf **[III.1].**

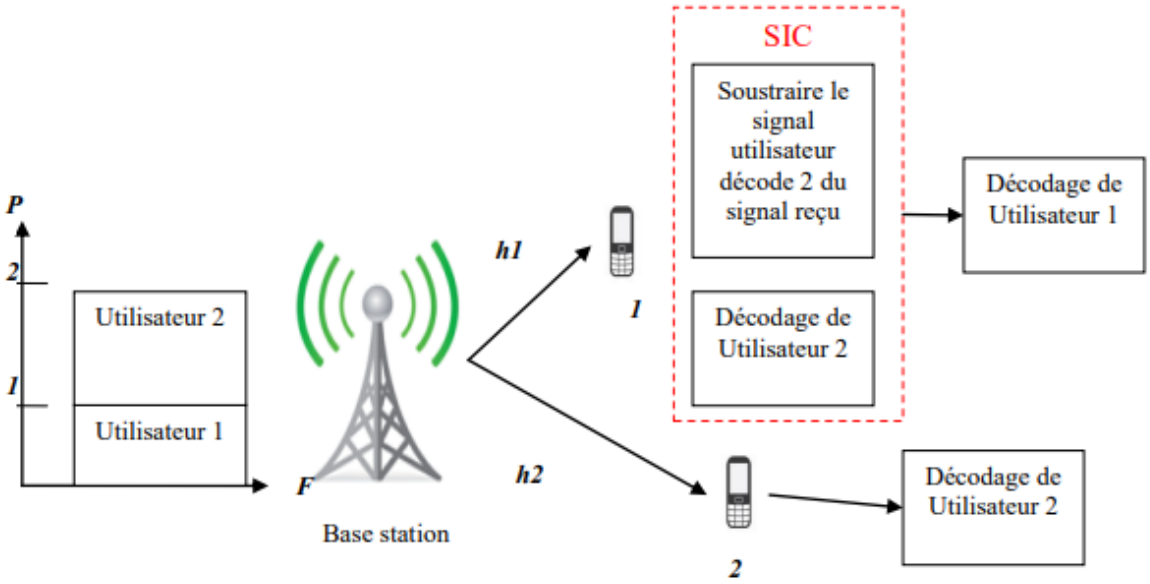


Figure III.5: liaison descendante NOMA pour 2 utilisateurs.

III.7. Liaison montante NOMA (up Link) :

Le modèle de système générique pour la liaison montante NOMA est illustré à la **Figure III.4** avec une station de base et deux utilisateurs. Les deux utilisateurs transmettent leurs messages dans la même bande de fréquences avec la même puissance d'émission p. Le signal reçu à la BS est donné par :

$$y = \sqrt{p}h_1s_1 + \sqrt{p}h_2s_2 + n, \qquad \text{(III.4)}$$

Où hk ∈ C désigne le coefficient de canal entre la BS et l'utilisateur k, sk désigne le symbole modulé de l'utilisateur k, c'est-à-dire k ∈ {1,2}, et n ∼ CN (0, σ2) désigne l'AWGN au niveau de la BS. Sans perte de généralité, nous supposons que l'utilisateur 1 est l'utilisateur fort et l'utilisateur 2 est l'utilisateur faible, c'est-à-dire que $|h1|^2 \geq |h2|^2$. En raison de leurs gains de

canal distinctifs, la puissance du signal reçu de l'utilisateur 1 est supérieure à celle de l'utilisateur 2, comme le montre la figure 1. **[III.7].**

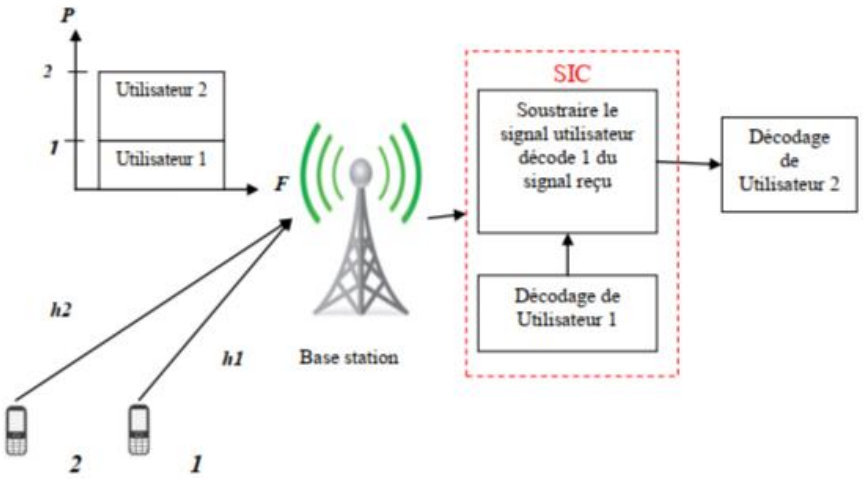


Figure III.6: liaison montante NOMA pour 2 utilisateurs

III.8. Efficacité spectrale et efficacité énergétique :

Dans cette partie nous avons définir l'efficacité spectrale **(SE)** et l'efficacité énergétique [EE] **:**

III.8.1. Efficacité spectrale :

L'amélioration de l'efficacité spectrale a été une recherche centrée et continue sujet dans le domaine des communications sans fil depuis des décennies, Le SE quantifie le nombre d'informations les bits peuvent être livrés dans une unité de temps et de bande passante système (bit/s/Hz).

Par conséquent, sur la base de la célèbre formule obtenue par Shannon la SE est défini comme :

$$SE = log2\left(1 + \frac{p|h|^2}{\sigma^2}\right)_{(bit/s/Hz)} \qquad \text{(III.5)}$$

Où σ^2 désigne la puissance de bruit, p représente la puissance d'émission et $|h|^2$ désigne le gain du canal.

III.8.2. Efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique est apparue comme une nouvelle figure de mérite importante et fondamentale pour les systèmes de communication sans fil, car les consommations d'énergie et les problèmes environnementaux associés deviennent actuellement un problème majeur. En

général, l'EE se présente essentiellement sous la forme d'un rapport avantages-coûts2 pour évaluer la quantité de données fournies en utilisant la ressource énergétique limitée du système (bits/Joule). L'EE est défini comme :

$$EE = \frac{W.SE}{\delta p + P\ C} \qquad \text{(III.6)}$$

Où *P* désigne la consommation d'énergie du circuit statique associée aux communications et capture l'inefficacité de l'amplificateur de puissance d'émission La bande passante (w). **[III.7]**

III.9. Application de NOMA

Transmission MIMO NOMA

L'idée de base du NOMA peut être étendue au cas dans lequel une BS et des utilisateurs sont équipés de plusieurs antennes, ce qui se traduit par MIMO NOMA. Bien sûr, pour les transmissions descendantes, la BS pourrait utiliser ses multiples antennes soit pour la formation de faisceaux améliorer le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR) **[III.9]** ou pour le multiplexage spatial pour augmenter le débit **[III.10].**

Coopérative NOMA

L'idée de base de la transmission coopérative NOMA est que les utilisateurs avec des conditions de canal plus fortes agissent comme relais pour aider les utilisateurs avec des conditions de canal plus faibles. **[III.11]**

Communication par lumière visible (VLC)

VLC est considéré comme étant un paradigme de communication prometteur pour les réseaux 5G sans fil et au-delà en exploitant le large spectre optique à des longueurs d'onde de 380 à 750 nm (spectre visible) et conçu pour fournir une connectivité omniprésente et une efficacité spectrale élevée. L'accès NOMA a été adaptée aux systèmes VLC pour diverses raisons, par exemple, le récepteur SIC qui fonctionne mieux avec moins d'utilisateurs ; c'est le cas pour VLC (l'utilisation de la modulation à bande étroite et de la détection non cohérente limite le nombre d'utilisateurs qui peuvent être pris en charge). Toutefois, les caractéristiques de canal uniques de VLC signifient que les algorithmes et protocoles conçus à l'origine pour les réseaux basés sur les radiofréquences ne peuvent pas être appliqués de façon optimale à VLC, et des conceptions adaptées aux canaux VLC sont nécessaires pour la combinaison de VLC et NOMA **[III.12]**

Internet des objets

Les scénarios de l'IoT consiste en une connectivité massive désigne l'ensemble des infrastructures et technologies mises en place pour faire fonctionner des objets divers par le biais d'une connexion Internet. L'exploitation de ressource non orthogonale comme moyen d'améliorer la connectivité fait l'objet de recherche actuelle **[III.13] [III.13].**

III.10. Avantage et inconvénient :

III.10.1. Avantage de NOMA :

- Il offre une plus grande efficacité spectrale grâce à l'utilisation de plusieurs utilisateurs sur la même ressource de fréquence.
- Il offre une connectivité massive en servant plus d'utilisations simultanément en même temps.
- Il offre une latence plus faible grâce à une transmission simultanée tout le temps plutôt qu'à un créneau horaire dédié.
- Il offre une meilleure QoS (Qualité of Service) à tous les utilisateurs en utilisant des algorithmes de contrôle de puissance flexibles. Il contribue à augmenter le débit de bord de cellule et à améliorer l'expérience utilisateur aux bords de cellule.
- Le NOMA associé au MIMO offre des performances améliorées. **[III.8]**

III.10.2. Inconvénient de NOMA :

- Chacun des utilisateurs au sein du cluster doit décoder les informations de tous les autres utilisateurs, même celui ayant les pires gains de canal. Cela conduit à la complexité du récepteur. De plus, la consommation d'énergie est plus élevée.
- Si une erreur se produit dans un seul utilisateur en raison de SIC, le décodage de toutes les informations des autres utilisateurs sera erroné. Cela limite le nombre maximum d'utilisateurs à desservir par chacun des clusters de la cellule.
- Afin d'obtenir les fonctionnalités souhaitées du concept de domaine de puissance dans NOMA au niveau du récepteur, la différence de gain de canal entre les utilisateurs doit être adéquate. Cela limite le nombre effectif de paires d'utilisateurs desservies par les clusters.

- Chaque utilisateur doit fournir des informations de gain de canal à la station de base en tant que retour d'information et, par conséquent, NOMA est suffisamment sensible pour obtenir ces mesures. **[III.8].**

III.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté le principe et le concept d'une autre technique d'accès multiple tell que NOMA, et nous donnant leurs avantages et inconvénients, et ses applications. Le NOMA est utilisé dans la 5G Pour permettre à plusieurs utilisateurs d'accéder au même canal.

Chapitre IV
Résultats et discussions



IV.1. Introduction :

Dans ce présent chapitre, nous exposons la simulation obtenue par le logiciel Matlab. Consacré à l'évaluation de performances de la technique NOMA en comparaison avec OFDMA et FDMA en liaison descendante puis en liaison montante.

IV.2. Performances de NOMA en liaison descendante :

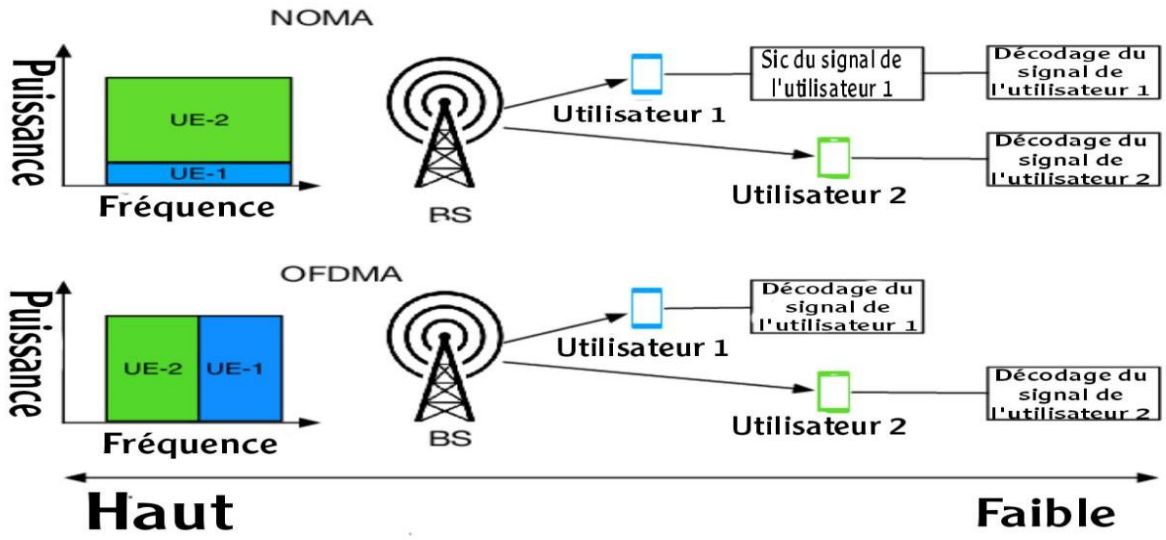


Figure IV.1: Schémas d'accès multiples pour deux utilisateurs NOMA et OFDMA

Figure IV.1 Représentant les schémas NOMA et OFDMA avec deux utilisateurs, cette figure Indiquez également le schéma OFDMA pour révéler les avantages particuliers du schéma NOMA par rapport au schéma OFDMA, l'utilisateur 1 utilise α Hz et le reste (1- α) Hz est attribué à l'utilisateur 2. Dans NOMA, l'utilisateur 2 exécute d'abord SIC pour décoder le signal de l'utilisateur 1 car l'utilisateur 2 a un gain de canal supérieur à celui de l'utilisateur 1. Le signal décodé est ensuite soustrait du signal reçu de l'utilisateur 2. Le signal résultant est finalement utilisé pour décoder le signal pour l'utilisateur 2. Pour l'utilisateur 1, SIC n'est pas implémenté et décode directement le signal. Par conséquent, le débit de données réalisable pour l'utilisateur 1 et l'utilisateur 2. De toute évidence, le schéma NOMA contrôle le débit de données Chaque utilisateur ajuste le rapport de distribution de puissance. Par conséquent, le débit global et l'équité pour l'utilisateur sont étroitement liés au schéma d'allocation de puissance.

IV.2.1. Représentation temporelle

Dans cette section, on a la représentation temporelle de NOMA et OFDMA au canal AWGN. Nous supposons que les deux utilisateurs sont à la même distance de la BS, et les coefficients de distribution de puissance $\alpha 1$ = 0,75 et $\alpha 2$ = 0,25. Les deux utilisateurs utilisent la modulation BPSK.

Nombre d'utilisateur	2
Distance entre la BTS et les deux utilisateurs	La même distance
Allocation de puissance	$\alpha 1$ = 0,75 et $\alpha 2$ = 0,25
Modulation	BPSK

Tableau IV.1: Paramètres de simulation NOMA et OFDMA pour deux utilisateurs (Domaine temporel).

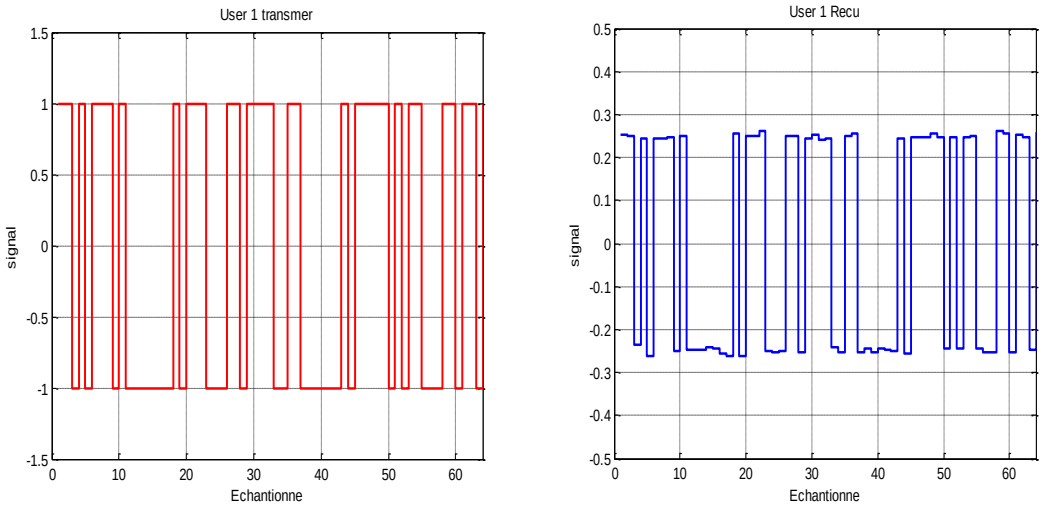


Figure IV.2 : Représentation temporel NOMA pour l'utilisateur 1

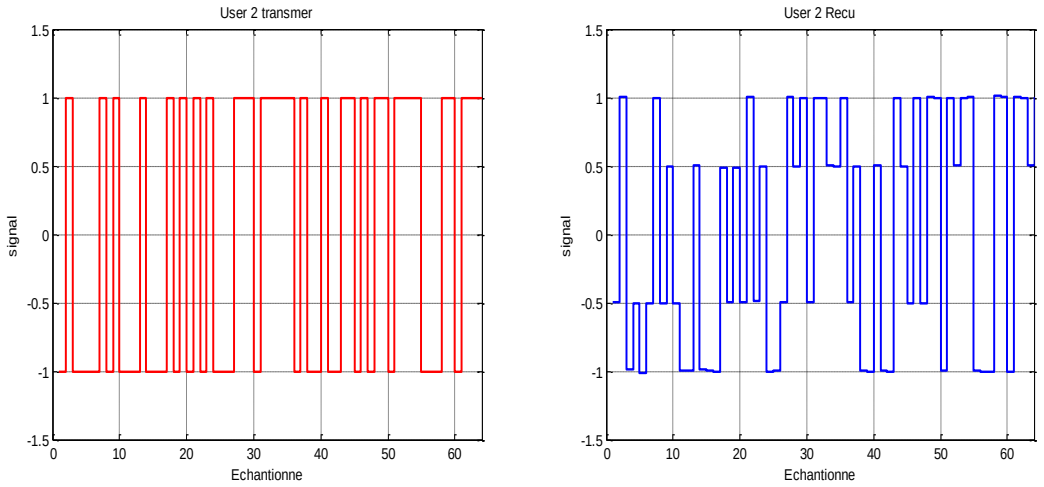


Figure IV.3 : Représentation temporel NOMA pour l'utilisateur 2

Les **Figure IV.2** et **Figure IV.3** représente le domaine temporel du l'utilisateur 1 et 2 respectivement pour NOMA en fonction d'échantillon. La figure qui s'affiche à droit (bleu)

représente le signal reçue et la figure qui s'affiche à gauche (rouge) représente le signal transmit. On suppose que le nombre de bit, N = 64 bits, SNR = 20dB, et le débit binaire est 1 bit par échantillon.

On peut observer que le signal reçu ou récupérer d'utilisateur 1 est le même signal émis d'utilisateur 1 après l'opération de décision, la même chose pour l'utilisateur 2.

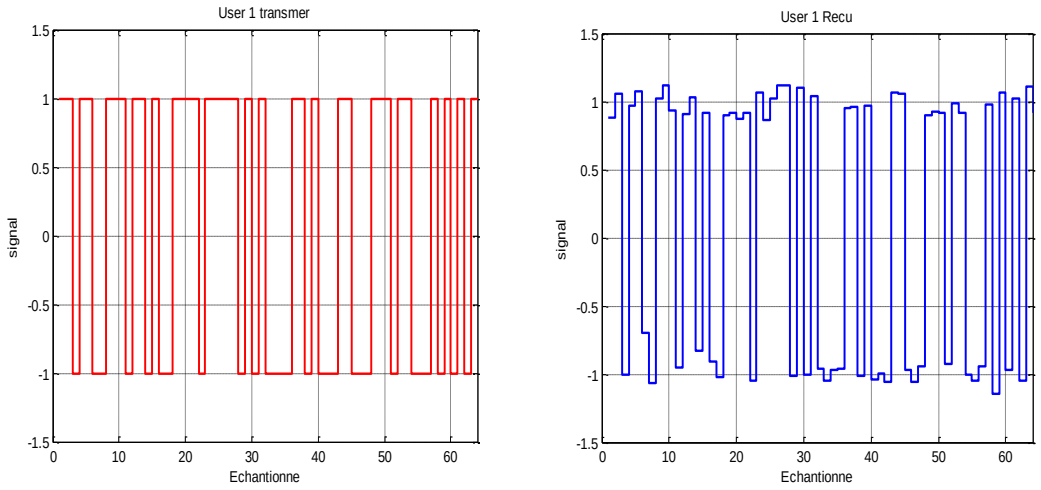


Figure IV.4 : Représentation temporel OFDMA pour l'utilisateur 1

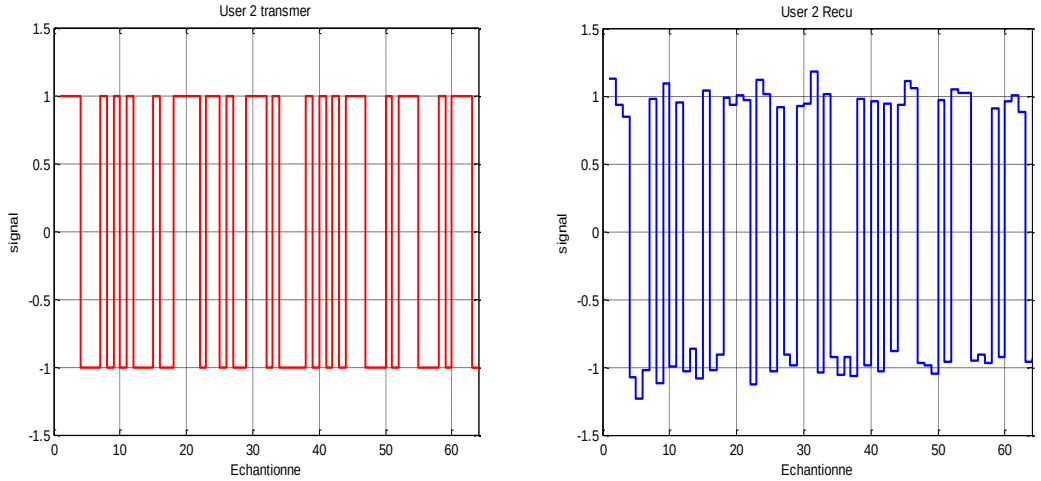


Figure IV.5 : Représentation temporel OFDMA pour l'utilisateur 2

Les **Figure IV.4** et **Figure IV.5** représente aussi le domaine temporel du l'utilisateur 1 et 2 respectivement pour OFDMA en fonction d'échantillon. La figure qui s'affiche à droit (bleu) représente le signal reçue et la figure qui s'affiche à gauche (rouge) représente le signal transmit. On suppose que le nombre de bit, N = 64 bits, SNR = 20dB, NFFT =32 et le débit binaire est 1 bit par échantillon.

On peut observer que le signal reçu ou récupérer de deux utilisateurs est le même signal émis pour les deux après l'opération de décision.

Le pourcentage d'assemblage entre l'utilisateur 2 émis et reçu de NOMA est moins que dans l'OFDMA.

IV.2.2. Représentation fréquentielle

Dans cette partie en donnant la représentation fréquentiel de NOMA et OFDMA de deux utilisateurs avec les mêmes caractéristiques de la représentation précédent tell que Canal AWGN, Modulation BPSK, Allocation de puissance, $utilisateur\,1 = 0{,}75$ et $utilisateur\,2 = 0{,}25$

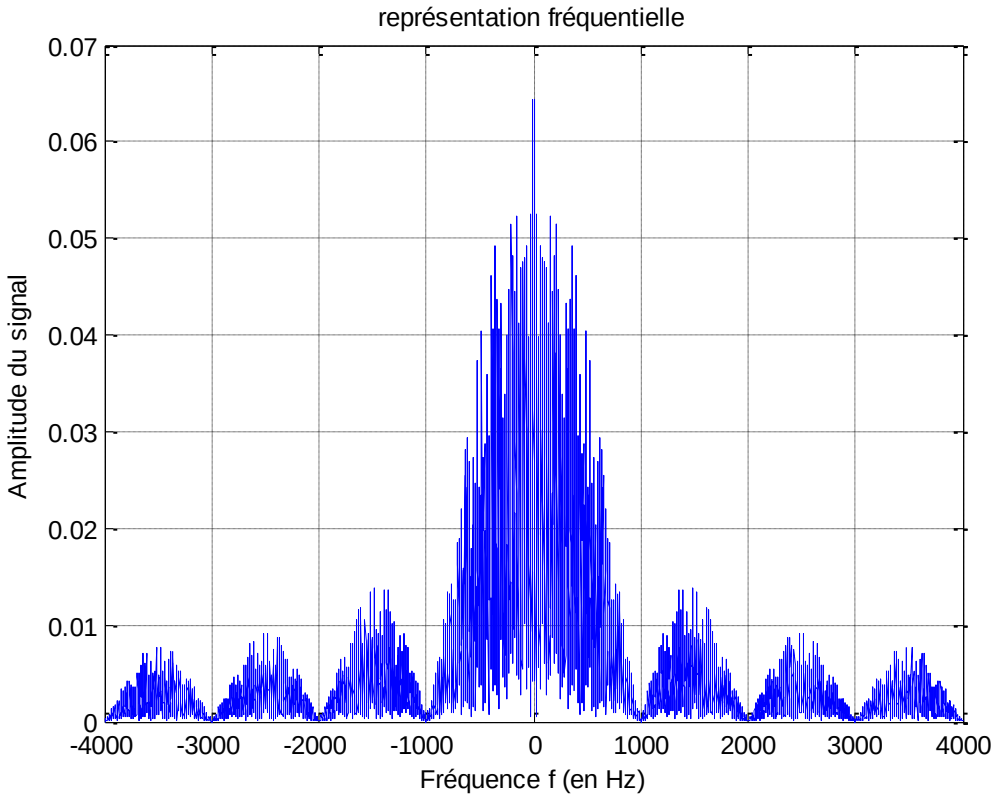


Figure IV.6 Représentation fréquentiel du NOMA

La Figure IV.6 représente le domaine fréquentiel, exactement la valeur d'amplitude de signal en fonction de fréquence pour NOMA. Nous avons choisir le nombre de bit 1000 bits.

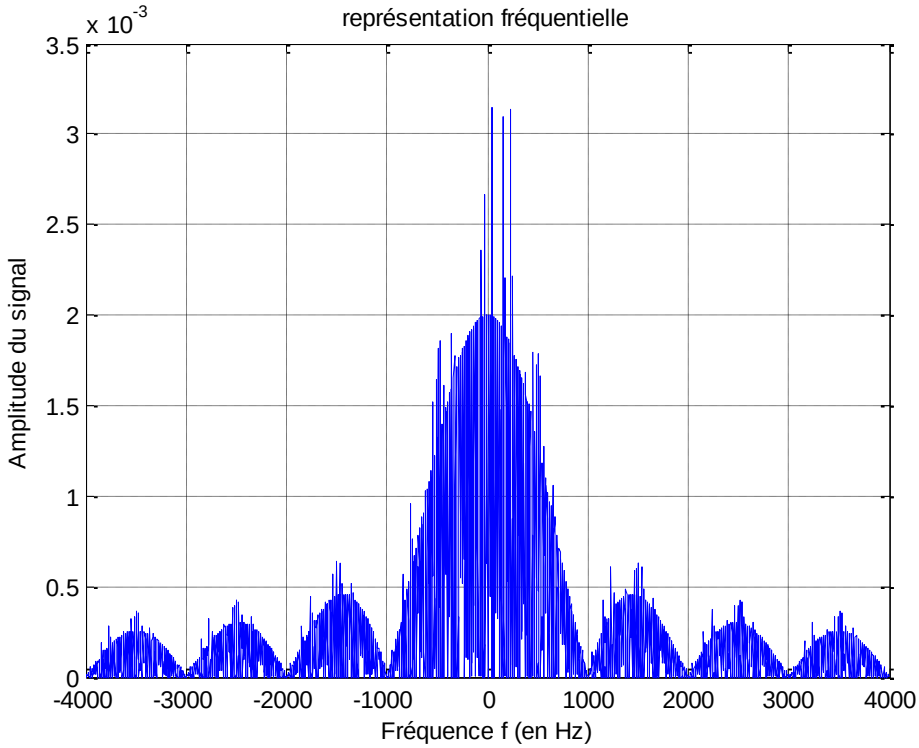


Figure IV.7 représentation fréquentiel OFDMA

La Figure IV.7 : Représente le domaine fréquentiel, la valeur d'amplitude de signal en fonction de fréquence pour OFDMA. Nous avons choisir le même Nombre de bite 1000 bits.

On a remarqué que la technique OFDMA et NOMA donne la même bande de fréquence qui est 2000Hz. On peut remarquer aussi que l'efficacité énergétique de l'OFDMA est mieux que de NOMA.

IV.2.3. Analyse de BER :

Dans cette section, nous évaluons les performances BER de NOMA dans les canaux bruités AWGN. Nous considérons toujours la transmission en liaison descendante de la BS vers les deux utilisateurs. Nous supposons que les deux utilisateurs sont à la même distance de la BS, et les coefficients de distribution de puissance $\alpha 1 = 0{,}75$ et $\alpha 2 = 0{,}25$. Les deux utilisateurs prennent en compte la modulation BPSK.

Nombre d'utilisateur	2
Distance entre la BTS et les deux utilisateurs	La même distance
Allocation de puissance	$\alpha 1 = 0{,}75$ et $\alpha 2 = 0{,}25$
Modulation	BPSK

Tableau IV.2: Paramètres de simulation NOMA pour deux utilisateurs (BER).

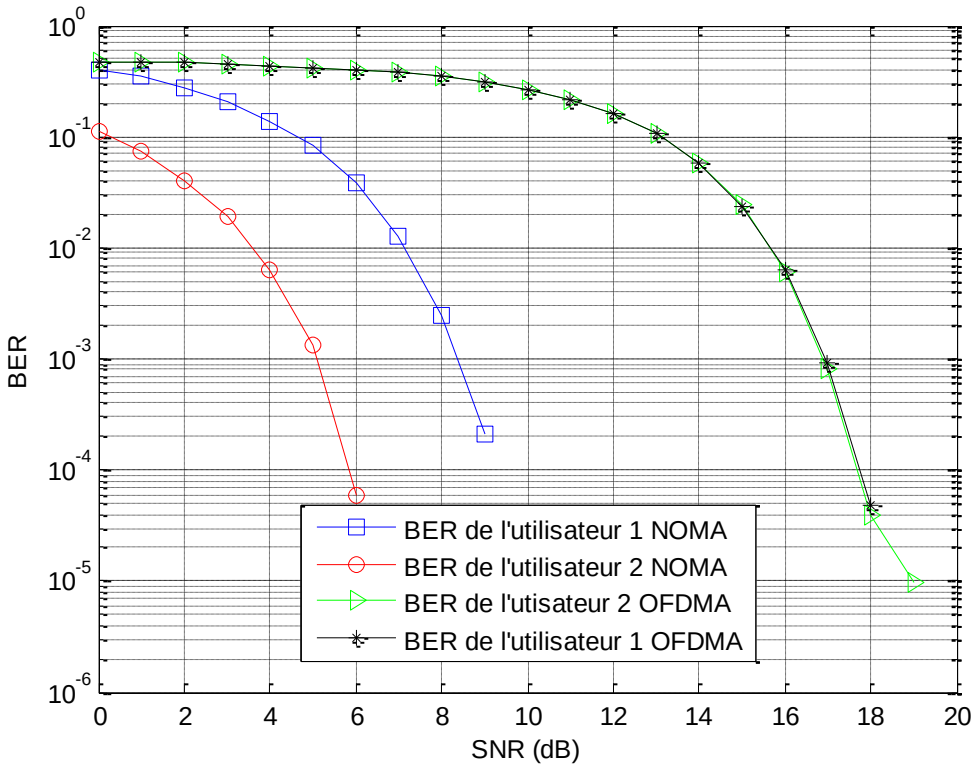


Figure IV.8: Le BER pour NOMA et OFDMA dans le canal AWGN

Figure IV.8 représente le BER en fonction de SNR des deux utilisateurs du multiplexage NOMA et OFDMA pour le canal AWGN. Dans la OFDMA nous avons choisir le nombre de sous-porteuse est 128 pour chaque utilisateur (c.-à-d. 256 sous-porteuses pour les deux utilisateurs), On a utilisé la technique d'allocation sous-band de l'OFDMA (voire figure IV.9).

On a remarqué que la technique NOMA donne un meilleur résultat par rapport OFDMA. Nous pouvons voir que le BER de l'utilisateur 1 de NOMA est supérieur à celui de l'utilisateur 2. Car l'utilisateur 2 est décodé directement le signal, mais l'utilisateur 1 doit effectuer le décodage SIC. Lorsque l'exécution de SIC, l'utilisateur 1 estime les données de l'utilisateur 2. Aussi on a observé que le BER de l'utilisateur 1 et 2 est le même pour l'OFDMA.

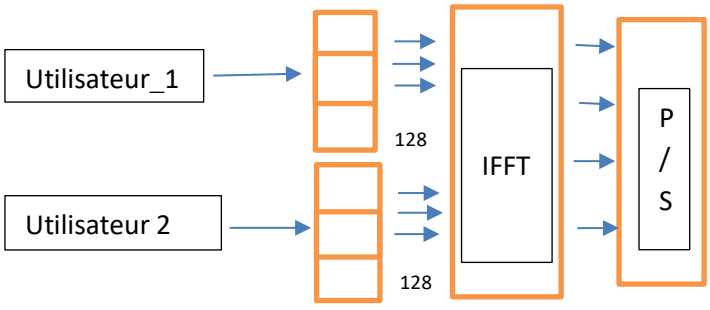


Figure IV.9 Technique d'allocation sous-band OFDMA

IV.2.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons évalué les performances de NOMA par rapport l'OFDMA. D'après les résultats obtenus, On a observé que les performances de NOMA sachant que le BER sont mieux que celles de l'OFDMA pour tous valeurs de SNR.

Conclusion Générale



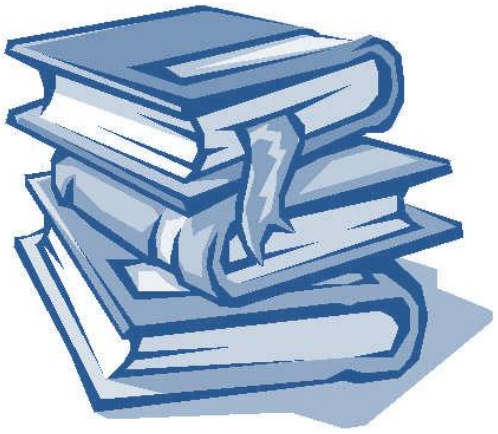
Conclusion Générale

5G est une technologie cellulaire a des hautes performances tell que le grand débit, la faible latence, la vitesse de téléchargement 20 fois que 4G et elle est aussi plus sécurisé que les autres générations. Un des techniques les plus importants dans les réseaux cellulaires est les techniques d'accès multiple. Ces techniques offrent pour les utilisateurs d'accéder au réseau et les permet au d'accès au canal pour le transfert des donnés. L'accès au canal ce fait soit par division de temps, fréquence, ou puissance. Parmi ces techniques existe : FDMA, TDMA, CDMA, SDMA, OFDMA et NOMA. Les réseaux 5G utilise la technique d'accès multiple non-orthogonal (NOMA) pour améliorer les performances dans la communication.

Dans cette thèse, nous avons parlé premièrement sur le réseau cellulaire 5G et nous avons présenté toutes les techniques d'accès multiple qui on a cité au-dessus. Ensuite, on a défini la liaison montante et descendent de la technique NOMA, puis on a montré leur avantage et inconvénient et ces applications.

L'objectif de ce mémoire est de simuler et comparer entre deux technique d'accès multiple tell que : OFDMA et NOMA en terme de taux d'erreur binaire (*Bit Error Rate*, BER). D'après les résultats de simulation on a trouvé que la NOMA est mieux que OFDMA en terme de BER.

Références bibliographiques



[I.1]. Sylvain Traverso. Transposition de fréquence et compensation du déséquilibre IQ pour des systèmes multi-porteuses sur canal sélectif en fréquence. Traitement du signal et de l'image. Université de Cergy Pontoise, 2007. Français<tel-00412562>

[I.3]. ELHACHI HANA, « Sécurisation de la Couche Physique OFDM Dans un Réseau de Capteurs : Application sur les Images Médicales » master, Université 8 Mai 1945 – Guelma ,2019

[I.4]. Shankari, M. R. Ramesh « Mobile Cellular Communication », pp. 1–936,2012.

[I.5]. https://www.silicon.fr/imt-2020-petit-nom-normatif-de-5g-119988.html

[I.6]. Bachir SADOU, Dehaya alhaq alqudama « Etude des techniques de modulation pour les réseauxmobiles 5G et 6G de nouvelle génération. » master, 2020

[I.7]. S. Sébastien, "Les Enjeux De La 5G, " ARCEP, 2017.

[I.8]. https://www.lemonde.fr/blog/binaire/2021/10/29/5g-du-cote-des-usages/

[II.1] : Gottapu Sasibhushana Rao, Mobile Cellular Communication. Pearson Education,2013.

[II.2] : R. Rom et M. Sidi, « Multiple Access Protocols, Performance and

Analysis », Springer-Verlag, 1990.

[II.3]: W. Stallings, Data and Computer Communications, Macmillan Inc., New York (1985).

[II.4] : Mémoire: CHAOU WISSEM, DJOUADI FELLA, Etude de la Technique d'Accès Multiple Non Orthogonal NOMA, UNIVERSITE A. MIRA-BEJAIA, 2019/2020

[II.5] : Simulation of Rayleigh channel and improve of channel estimation using Artificial Neural Network ; M.A. Alamoudi & Adnan Affandi ; Dept. of Elect. & Comp. Eng., Faculty of Eng., King Abdul Aziz University Jeddah, KSA

[II.6] : Accès multiple sans conflit , Marceau Coupechoux ,UE RES222 « Accès au Médium et Ordonnancement » ,Mars 2008 ENST, Département Informatique et Réseaux,

[II.7] : Tao Jiang , Lingyang Song ,Yan Zhang , " Orthogonal Frequency Division Multiple Access Fundamentals and Application " , by Taylor and Francis Group, LLC .2010

[II.8] : https://forum.huawei.com/enterprise/fr/hcia-lte-%E4%B8%A804-technologies-d-acc%C3%A8s-multiple-et-duplex/thread/837845-100363

[II.9] : https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-030-65726-0_8/MediaObjects/497234_1_En_8_Fig5_HTML.png

[II.10] : https://www.researchgate.net/profile/Mohammad-Faiz-Liew-Abdullah/publication/277171346/figure/fig1/AS:294588951613440@1447246887078/Block-diagram-for-OFDMA-5.png

[II.11] : Accès multiple sans conflit Marceau Coupechoux UE RES222 « Accès au Médium et Ordonnancement » Mars 2008 ENST, Département Informatique et Réseaux

[III.1]. M. S. Ali, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Wireless Communications," University of Manitoba, 2017.

[III.2]. S. M. R. Islam, M. Zeng, and O. A. Dobre, "NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency," vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2017, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1706.08215.

[III.3]. S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre and K. Kwak, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 721-742, Second quarter 2017.

[III.4]. Necib Abdelbadie Et Debbeche Hocine « Comparaison des performances entre NOMA et OFDM pour le réseau 5G » master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2021.

[III.5]. Y. Liu, z. Qin, and M. ELKASHLAN «Nonorthogonal Multiple Access for 5G and Beyond»

[III.6]. H. Kitagawa and E. Okamoto, "Performance improvement of non-orthogonal multiple access scheme using code division multiplexing," Int. J. Distrib. Sens. Networks, vol. 13, no. 11, 2017, doit : 10.1177/1550147717744528.

[III.7] Z. Wei, "Performance Analysis and Design of Non-orthogonal Multiple Access for Wireless Communications," The University of New South Wales, 2019

[III.8] : Advantages of NOMA | Disadvantages of NOMA | Non-Orthogonal Multiple Acces, RF Wireless World, https://www.rfwireless world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-NOMA.html

[III.8] : Mémoire : Barir Abdessettar, Gherbi Laid, Zair Souheil Mohammed Ismail ,Analyse des Performances d'un Système d'Accès Multiple Non Orthogonale (NOMA) ,Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued 2020/2021

[III.9] : K. Higuchi and A. Benjebbour, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) with Successive Interference Cancellation for Future Radio Access," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E98.B, no. 3, 2015, pp. 403–14.

[III.10] : Q. Sun, S. Han, C. I, and Z. Pan, "On the Ergodic Capacity of MIMO NOMA Systems," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 4, Aug. 2015, pp. 405–08.

[III.11] : Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-1465, Aug. 2015

[III.12] : Mojtaba Vaezi, Zhiguo Ding, H. Vincent Poor, "Multiple Access Techniques for 5g Wireless Networks and Beyond," Springer International Publishing AG, 2019.

[III.12] : Mimoire : CHAOU WISSEM et DJOUADI FELLA ,Etude de la Technique d'Accès Multiple Non Orthogonal NOMA Université A. MIRA-BEJAIA 2019/2020

[III.13] : Hamou Chehri. "Etude et caractérisation d'un canal de propagation pour les réseaux VANET", UNIVERSITE DU QUEBEC EN ABITIBI-TEMISCAMINGUE, JUIN, 2014.

[III.13] : Touati Tliba Abir, Maamra Rabia, Soltani Mohamed Redouane. "Évaluation des performances d'un système NOMA-MIMO'', Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, Année universitaire : 2020/2021.