

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** :

TALEB Rahma Djaouda

SEBAIHI –TANI Zoubida

### **Sujet**

**NOMA pour les futurs réseaux sans fil 5G**

Soutenu publiquement, le 04 / 07 / 2021 , devant le jury composé de :

M.IRID S.M.H	MCA	Univ. Tlemcen	Président
M. KAMECHE S	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Melle. HAMLILI H	Docteur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mme. BOUSALAH F	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur

# *Remerciement*

*Nous voudrions tout d'abord remercier DIEU le tout-puissant pour nous avoir donné la volonté et le pouvoir de développer ce modeste travail.*

*Ce mémoire n'aurait pas vu le jour sans l'aide, la gentillesse, la compréhension, le dévouement et le soutien permanent de certaines personnes, auxquelles nous tenons à témoigner notre gratitude et nos sincères remerciements.*

*Nous remercions sincèrement notre directeur de mémoire, Monsieur le Professeur KAMECHE Samir, pour ses efforts et ses précieux conseils pour nous guider et mener à bien la préparation de notre mémoire.*

*En même temps, nous souhaitons également remercier Mademoiselle HAMLILI Heyem, co-directeur de notre mémoire, qui nous a permis d'approfondir nos recherches avec des informations et des conseils en toute générosité, dont le mérite va à elle.*

*Nos remerciements les plus respectueux vont à Monsieur IRID Sidi Mohamed Hadj, Maître de conférences classe A à l'université de Tlemcen pour avoir accepté de présider le jury de ce Mémoire.*

*Nous exprimons également remerciement à Madame BOUSALAH Fayza, Maître de conférences classe B à l'université de Tlemcen, qui nous fera l'honneur de participer au jury pour examiner ce travail.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également à ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, dans la réalisation de cette étude. Enfin, nos remerciements vont à tous nos professeurs de la Faculté de technologie, qui nous ont aidés tout au long de notre cycle universitaire.*

# Dédicaces

*Nos chers parents*

*Nos familles et nos amis*

*Ceux qui nous ont aidés de près et de loin*

*Tous ceux que nous aimons*

## **Résumé :**

Sous l'impulsion de l'escalade rapide des besoins en capacité sans fil imposés par les applications multimédia avancées, ainsi que de la demande croissante en accès utilisateur requise pour l'Internet des objets (IoT), les réseaux de cinquième génération (5G) sont confrontés à des défis en termes de prise en charge du trafic de données hétérogènes à grande échelle. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) et une amélioration significative de l'efficacité de la bande passante peut être obtenue par rapport aux techniques classiques d'accès multiple orthogonal (OMA). Elle a récemment proposé ; constitue une technologie prometteuse permettant de relever les défis mentionnés ci-dessus dans les réseaux 5G en accueillant plusieurs utilisateurs dans le même bloc de ressources. Dans ce contexte, nous fournissons un aperçu complet de l'état de l'art du NOMA assisté par multiplexage dans le domaine de puissance, ses principaux avantages par rapport aux autres techniques existantes, et en mettant l'accent sur ses principes théoriques. Nous résumons ces défis et proposons des solutions potentielles. Enfin, nous proposons des directives de conception pour les systèmes NOMA et identifions des opportunités de recherche prometteuses pour l'avenir.

**Mots clés :** 5G, NOMA, OMA, CDMA, CSMA, QOS, SIC...

---

## **Abstract:**

Driven by the rapidly escalating wireless capacity requirements imposed by advanced multimedia applications, as well as the increasing demand for user access required for the Internet of Things (IoT), fifth-generation (5G) networks face challenges in supporting large-scale heterogeneous data traffic. Non-orthogonal multiple access (NOMA) is a significant improvement in bandwidth efficiency can be achieved over conventional orthogonal multiple access (OMA) techniques. It has recently proposed a promising technology to address the above challenges in 5G networks by accommodating multiple users in the same resource block. In this context, we provide a comprehensive overview of the state of the art of power-domain multiplexing-assisted NOMA, its main advantages over other existing techniques, and with a focus on its theoretical principles. We summarize these challenges and propose potential solutions. Finally, we propose design guidelines for NOMA systems and identify promising research opportunities for the future.

**Keywords :** 5G, NOMA, OMA, CDMA, CSMA, QOS, SIC...

---

## **ملخص:**

تواجه شبكات الجيل الخامس تحديات من حيث دعم حركة البيانات غير المتجانسة على نطاق واسع، وذلك بسبب التصاعد السريع في متطلبات القدرة اللاسلكية التي تفرضها تطبيقات الوسائط المتعددة والمتقدمة، فضلا عن الطلب المتزايد على وصول المستخدمين لإنترنت الأشياء (IoT). يمكن تحقيق الوصول المتعدد الغير المتعامد (NOMA) وتحسن كبير في كفاءة عرض النطاق الترددي مقارنة بتقنيات الوصول المتعددة المتعامدة التقليدية (OMA). وقد اقترحت مؤخرا تكنولوجيا واعدة لمواجهة التحديات المذكورة أعلاه في شبكات الجيل الخامس من خلال استضافة مستخدمين متعددين في كتلة الموارد نفسها. في هذا السياق، نقدم نظرة شاملة على حالة تقنية NOMA بمساعدة نظام المضاعفة في مجال الطاقة، و مزاياه الرئيسية على التقنيات الأخرى القائمة، و مع التركيز على مبادئه النظرية. ونلخص هذه التحديات ونقترح حولا محتملة. وأخيرا، نقترح مبادئ توجيهية لتصميم أنظمة NOMA وتحديث فرص البحث الواعدة للمستقبل.

**الكلمات المفتاحية:** 5G,NOMA,OMA,CDMA , CSMA,Qos,SIC.....

# Table des matières

Remerciement .....	i
Dédicaces .....	ii
Résumés .....	iii
Table des matières .....	iv
Liste des figures .....	viii
Liste des tableaux .....	ix
Acronymes .....	xiv
Introduction Générale.....	xvi

## Chapitre I : L'évolution des réseaux mobiles : de la 1G vers la 5G

I.1	Introduction .....	1
I.2	Les réseaux mobiles .....	1
I.2.1	Architecture des réseaux mobiles.....	1
I.3	Evolution des différentes générations .....	2
I.3.1	La première génération « 1G ».....	2
I.3.2	La deuxième génération « 2G ».....	3
I.3.2.1	GSM (Global System for Mobile).....	3
I.3.2.2	GPRS (General Packet Radio Service (2.5G)).....	5
I.3.2.3	EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution (2.75G)).....	6
I.3.3	La 3ème génération « 3G » .....	6
I.3.3.1	Objectifs de réseau UMTS .....	7
I.3.3.2	Les caractéristiques techniques de 3G.....	7
I.3.3.3	Architecture du réseau UMTS.....	8
I.3.3.4	HSDPA (High Speed Downlink Packet Access : 3.5G).....	9
I.3.3.5	HSUPA (High Speed Uplink Packet Access : 3.75G).....	9
I.3.4	La 4ème génération « 4G » .....	10
I.3.4.1	Les caractéristiques du LTE .....	10
I.3.4.2	L'architecture du LTE .....	11
I.3.4.3	LTE -Advanced : .....	12
I.3.5	La 5ème génération « 5G » .....	13
I.3.5.1	L'objectif du 5G .....	13

I.3.5.2	Spécifications de 5G.....	14
I.3.5.3	Les familles d'usage 5G.....	15
I.3.5.4	L'architecture de la 5G.....	17
I.3.5.5	Les fréquences de la 5G.....	18
I.3.5.6	Les technologies clés de la 5G.....	19
I.3.5.7	Les inconvénients des ondes millimétrique.....	21
I.3.5.8	Performance et qualité de service (Qos).....	22
I.3.5.9	Les avantages des réseaux sans fil (5 G).....	22
I.4	Récapitulation.....	23
I.5	Conclusion.....	23

## **Chapitre II : Technique d'accès multiple orthogonale NOMA**

II.1	Introduction.....	25
II.2	Principe de fonctionnement de NOMA.....	25
II.2.1	NOMA dans le domaine de code :.....	26
II.2.2	NOMA dans le domaine de puissance (PD-NOMA).....	26
II.3	La différence entre NOMA et OMA.....	27
II.4.1.1	Codage SC.....	29
II.4.1.2	La modulation.....	30
II.4.2	Modèle de canal.....	33
II.4.2.1	Canal de propagation par multi trajets :.....	33
II.4.2.2	Le bruit.....	37
II.4.3	La conception du récepteur.....	39
II.4.3.1	Démodulation :.....	39
II.4.3.2	Décodage SIC :.....	39
II.5	Conclusion.....	43

## **Chapitre III : Simulations et résultats**

III.1	Introduction.....	45
III.2	Normes de performance NOMA pour les systèmes de communication 5G.....	45
III.2.1	Capacité.....	45
III.2.1.1	Le rapport signal sur bruit (SNR).....	45
III.2.1.2	La formule de calcul de la capacité NOMA et OMA.....	46
III.2.2	Le taux d'erreur binaire (TEB ou BER).....	47
III.3	Paramètres de simulation.....	48
III.4	Résultats, analyses et comparaison.....	48

III.4.1	Capacité NOMA.....	51
III.4.2	Les performances en terme de BER .....	55
III.4.2.1	BER pour les modulations (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM) .....	57
III.5	Conclusion.....	60
	Conclusion générale .....	62
	Bibliographie .....	64

# Liste des Figures

## Chapitre I

Figure I.1. Architecture générale des réseaux mobiles .....	1
Figure I.2. Architecture du réseau GSM .....	4
Figure I.3. L'architecture du GPRS.....	6
Figure I.4. Architecture globale de l'UMTS .....	8
Figure I.5. Architecture du LTE.....	11
Figure I.6. Les objectifs de réseaux 5G.....	14
Figure I.7. Les trois cas d'utilisation de 5G .....	15
Figure I.8. Bandes de spectre attribuées aux cas d'utilisations 5G .....	16
Figure I.9. Architecture de 5G .....	17
Figure I.10. Les fréquences de fonctionnement de la 5G .....	19
Figure I.11. Ondes millimétriques .....	19
Figure I.12. Le système Full-duplex pour la 5G .....	21

## Chapitre II

Figure II.1. Les performances globales de deux utilisateurs .....	25
Figure II.2. Les mécanismes de la PD-NOMA .....	27
Figure II.3. Comparaison entre NOMA et OMA .....	28
Figure II.4. Structure de transmission NOMA .....	28
Figure II.5. Chaîne de transmission (coté émetteur) .....	29
Figure II.6. Allocation de puissance-codage SC-.....	30
Figure II.7. Modèle explicatif de la modulation.....	30
Figure II.8. Représentation temporelle et vectorielle .....	31
Figure II.9. Modèle de propagation multi trajets.....	33
Figure II.10. Système de communication sans fil avec LOS et NLOS, de canaux Rician et Rayleigh. 36	
Figure II.11. Chaîne de transmission (coté de récepteur).....	39
Figure II.12. Le concept de NOMA dans le décodage SIC.....	43



---

## Chapitre III

---

Figure III.1. Représentation des signaux générés .....	46
Figure III.2. Représentation des signaux après le codage NRZ .....	46
Figure III.3. Allocation des puissances .....	47
Figure III.4. Représentation de signal NOMA après le codage SC.....	48
Figure II.5. Organigramme de simulation de Capacité .....	49
Figure II.6. Capacité NOMA pour deux utilisateurs .....	50
Figure II.7. Comparaison de capacité NOMA vs OMA.....	52
Figure II.8. Organigramme de simulation de BER (modulation BPSK).....	53
Figure II.9. Performance NOMA-BER pour deux utilisateurs.....	54
Figure II.10. Organigramme de simulation de BER (4 modulations) .....	55
Figure II.11. Comparaison des BER pour les différentes modulations .....	56

# Liste des Tableaux

---

---

<b>Tableau I.1.</b> La différence entre LTE et LTE-Advanced .....	12
<b>Tableau I.2.</b> La comparaison de différentes générations.....	23
<b>Tableau III.1.</b> Paramètres de simulations .....	48

# Acronymes

**I**

**1G:** la première génération

**2**

**2G:** la 2ème génération

**3**

**3G:** la 3ème génération

**3GPP:** 3rd Generation Partnership Project

**4**

**4G:** la 4ème génération

**5**

**5G:** la 5ème génération

**A**

**AMPS:** Advanced Mobile Phone System

**ASK:** Amplitude Shift Keying

**AWGN:** Additive White Gaussian Noise

**B**

**BER:** Bit Error Rate

**BSC:** Base Station Controller

**BSS:** Base Station Sub-System

**BTS:** Base Transceiver Station

**C**

**CDMA:** Code Division Multiple Access

**CEPT:** Conference Européenne des administrations des postes et télécommunications

## Acronymes

**CN:** Core Network

**CS:** Control Switched

### ***D***

**DCS:** Digital Communication System

### ***E***

**EDGE:** Enhanced Data Rate for GSM Evolution

**eMBB:** Enhanced Mobile Broadband

**EPC:** Evolved Packet Core

**ETSI:** Europe Télécommunications

**E-UTRAN:** Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

### ***F***

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access

**FPLMTS:** Futur Public Land Mobile, Futur Public Land Mobile Telephone System

**FSK:** Frequency Shift Keying

### ***G***

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GSM:** Global System Mobile

### ***H***

**HLR:** Home Location Visitor

**HSDPA:** High Speed Downlink Packet Access

**HS-DSCH:** High Speed Downlink Shared Channel

**HSS:** Home Subscriber Server

**HSUPA:** High Speed Uplink Packet Access

### ***I***

**IoT:** Internet of Things

**IP:** Internet Protocol

## Acronymes

### **L**

**LOS:** Line-Of-Sight

**LTE:** Long Term Evolution

**LTE-Advanced:** Long Term Evolution-Advanced

### **M**

**MIMO:** Multiple -Input Multiple Output

**MME** Mobility Management Entity

**mMTC:** Massive Machine Type Communication

**MS:** Mobile Station

**MSC:** Mobile Switching Center

### **N**

**NFV:** Network Function Virtualization, Network Function Virtualization

**NLOS:** Non Line Of Sight

**NMS:** Nordic Mobile Telecommunication

**NMT:** Nordic Mobile Telecommunication

**NOMA:** Non-Orthogonal Multiple Access

**NSS:** Network Sub-System

### **O**

**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

**OMA:** Orthogonal Multiple Access

**OMM:** Onde Millimétrique

### **P**

**PCRF:** Policy & Charging Rules Function

**PD-NOMA:** Non-Orthogonal Multiple Access power domain

PFC Projet

**PGW:** Packet Data Network Gateway

**PS:** Packet Switched

**PSK:** Phase Shift Keying

## Acronymes

### **Q**

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulator

**Qos:** Quality Of Service

### **R**

**RNC:** Radion Network Controller

**RNS:** Radio Network System

### **S**

**SC:** Superposition Coding

**SC-FDMA:** Single Carrier Frequency Division Multiple Access

**SDN:** Software Defined Networking

**SGSN:** Serving GPRS Support Node

**SGW:** Serving Gateway

**SIC:** Successive- Interference Cancelation

**SMS:** Short Message Service

**SNR:** Signal to Noise

### **T**

**TDMA:** Time Dvision Multiple Access

**TEB:** Taux d'Erreur Binaire

### **U**

**UDN:** Ultra Dense Networking

**UIT:** Union Internationale des Télécommunications

**UM:** Utilisateur Mobile

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

**uRLLC:** Ultra Reliable and Low Latency

**USIM:** Universal Subscriber Identity Module, Universal Subscriber Identity Module

**UTRAN :**UMTS Terrestrial Radio Access Network

### **V**

**VLR:** Visited Location Register

Acronymes

**W**

**WIMAX** :Worldwide Interoperability for Microwave Access



*Introduction générale*



# Introduction générale

A l'échelle mondiale, les réseaux de télécommunication sans fil ont pris de plus en plus d'importance. Pour cette raison nous avons vu une énorme évolution de plusieurs générations des réseaux mobiles de la 1G jusqu'à la 5G ; chacune à ces exigences.

L'arrivée de la 5<sup>ème</sup> génération a donné la naissance d'internet des objets (Internet Of Things (Iot)), et ce dernier a augmenté le nombre de communications ce qui demande une capacité élevée. On peut envisager comme solution d'utiliser des nouvelles bandes de fréquences pour atteindre cette demande ; mais cela ça ne suffit pas car d'autres applications utilisent déjà ces bandes. La question qui se pose est : « comment fournir le même service à plusieurs utilisateurs avec le même bloc de ressources ? ».

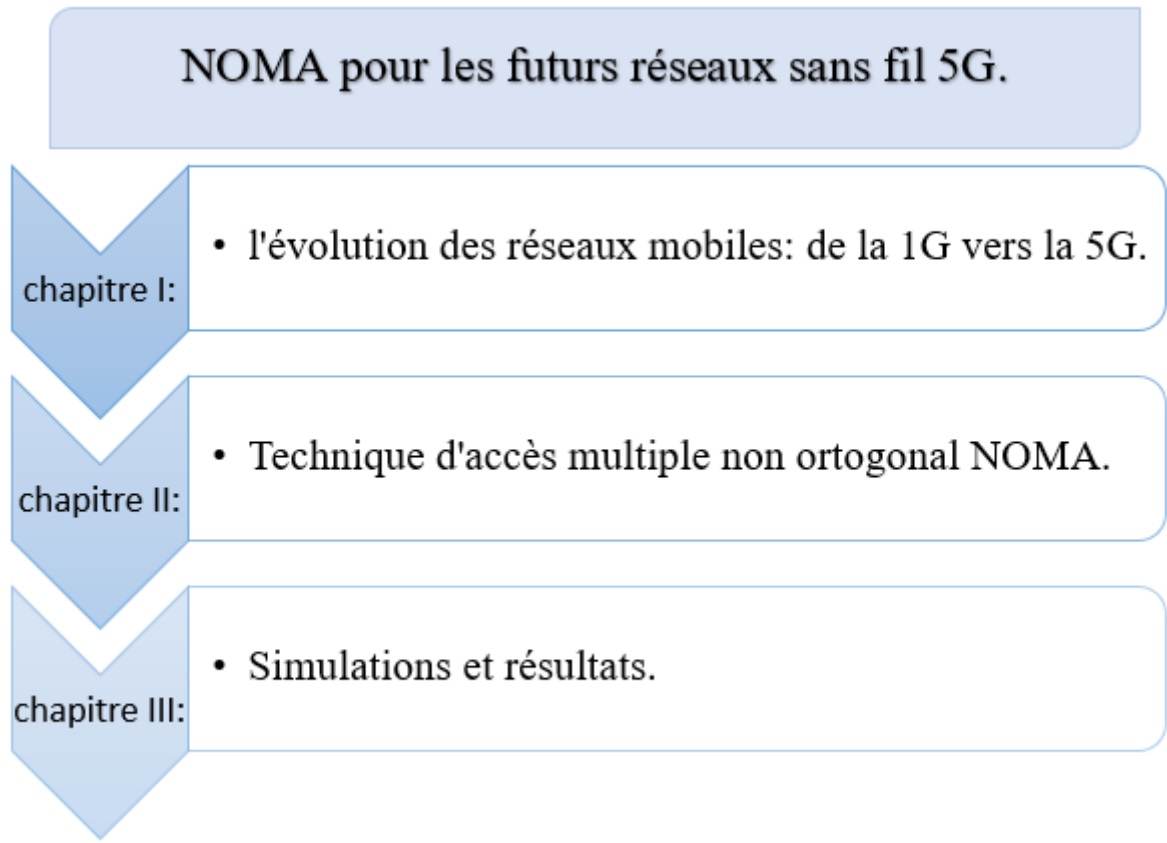
C'est delà qu'on a pensé aux techniques d'accès multiple qui permet aux utilisateurs de communiquer simultanément. En premier lieu, tous les réseaux cellulaires actuels qui peuvent mettre en œuvre un ensemble des techniques d'accès multiple orthogonal OMA, telles que l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) et l'accès multiple par répartition par code (CDMA).

Cependant, avec le développement rapide de l'Internet mobile et la vulgarisation des appareils mobiles, les gens s'attendent à ce que les futurs systèmes de communication sans fil soient capables de prendre en charge des connexions à grande échelle, ce qui est extrêmement difficile pour OMA, qui dispose de ressources technologiques et radio limitées. Pour résoudre ce problème, l'accès multiple non orthogonal (NOMA) a récemment été proposé comme technologie d'accès pour le système de communication mobile de cinquième génération (5G), qui a le potentiel d'atteindre une efficacité spectrale élevée et de prendre en charge un accès à grande échelle.

A ce stade, on peut dire que NOMA est actuellement un sujet de recherche populaire en dehors de la 5G et des systèmes, du milieu universitaire et de l'industrie. Bien qu'elle s'intéresse à la «non-orthogonalité» de l'accès, il semble que la communauté de recherche comprend le terme d'une manière différente.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le travail de notre projet fin d'étude consacré à l'étude de la technique NOMA pour les futurs réseaux de la 5G. Le travail est organisé en trois chapitres :

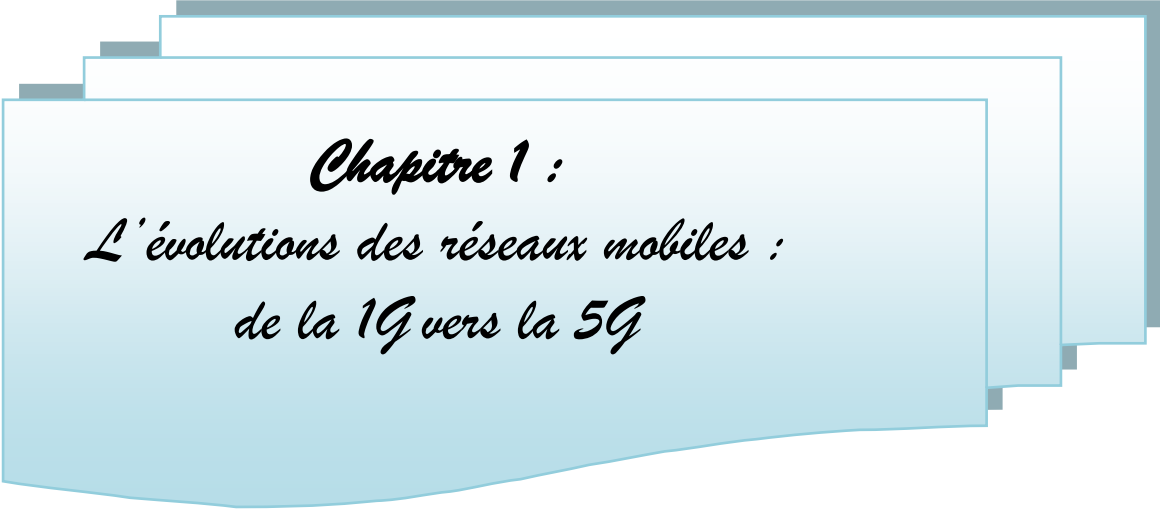
# Introduction générale



**Figure :** *Organisation de mémoire.*

- ✓ Dans le premier chapitre, nous allons introduire les différentes générations des réseaux mobiles. Nous détaillons par la suite la cinquième génération en précisons ses objectifs et ses exigences ; son architecture et ses fréquences et finalement ses avantages.
- ✓ Ensuite ; le deuxième chapitre est le cœur de mémoire ; nous allons développer la technique d'accès non orthogonale (NOMA) ; son principe de fonctionnement et de quoi elle se diffère de la technique OMA, ainsi sa chaîne de transmission.
- ✓ Enfin, le troisième chapitre ; comprend les résultats de simulation de la chaîne NOMA simulé sous MATLAB.

On terminera notre projet de fin d'étude par une conclusion générale qui résume notre travail et donne les éventuelles perspectives de l'étude présentée.



*Chapitre 1 :*  
*L'évolutions des réseaux mobiles :*  
*de la 1G vers la 5G*

## I.1 Introduction

Depuis l'arrivée de la téléphonie mobile, la technologie dans les réseaux de la communication n'a pas cessé de se développer au cours de ces 30 dernières années où plusieurs générations ont apparues (1G, 2G, ... et la 5G). Le but est de fournir une communication fiable et de haute qualité, chaque génération représente un pas dans cette direction. Ce voyage d'évolution a commencé en 1979 par la 1G et se poursuit toujours vers la 5G. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes générations de réseaux mobiles de la 1G jusqu'à la 5G.

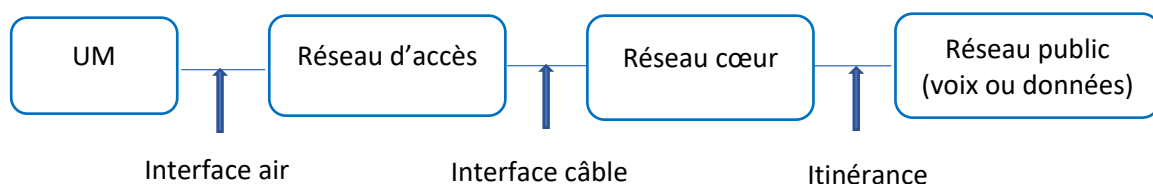
## I.2 Les réseaux mobiles

Un réseau de téléphonie mobile est un réseau qui permet à des milliers d'appareils connectés d'établir des communications (téléphoner, envoyer des SMS et des MMS, surfer sur le web, ... etc.) tout étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité. Ce réseau fonctionne grâce à un spectre hertzien partagé entre de multiples usagers répartis dans différentes zones [1].

### I.2.1 Architecture des réseaux mobiles

L'architecture de base des réseaux mobiles est composée d'une partie fixe et d'une partie mobile. La partie mobile est principalement composée d'utilisateurs mobiles (UM). Dans la partie fixe, on trouve le réseau d'accès composé des stations de base et leurs contrôleurs qui constituent des passerelles vers le réseau cœur. Ce dernier est composé de commutateurs et/ou de routeurs.

Le réseau d'accès sert d'interface entre les utilisateurs mobiles et le réseau cœur. Le réseau cœur, assure l'interconnexion avec le réseau d'accès et d'autres réseaux cœurs si nécessaire. Lorsque la zone de couverture est vaste ou le nombre d'équipements dans le réseau est élevé, un réseau de transport sert d'interface entre le réseau d'accès et le réseau cœur [2]. L'architecture est simplifiée dans la figure suivante :



**Figure I.1 :** Architecture générale des réseaux mobile.

### I.3 Evolution des différentes générations

#### I.3.1 La première génération « 1G »

Apparue dans la fin des années 70, 1G est la première génération de réseaux mobiles dédiée aux appels vocaux uniquement. Le mobile communique par le biais d'une interface radio avec l'antenne centrale, qui joue le rôle d'émetteur-récepteur de la cellule. Les bandes de fréquence utilisées pour cette interface radio sont généralement spécifiques au pays dans lequel est implanté le réseau. En effet, ces interfaces radio peuvent être incompatibles. L'émission des informations est effectuée en analogique. Cette génération ne pouvait pas avoir beaucoup de succès parce qu'elle avait beaucoup de défauts comme :

- Les normes incompatibles d'une région à une autre ;
- Transmission analogique non sécurisé (possibilité de l'écoute) ;
- Pas de roaming vers l'internationale ;
- Service médiocre par rapport au coût élevé.

Il existe deux systèmes de la première génération, les plus développés proviennent des pays scandinaves, il s'agit de :

- **NMT** (Nordic Mobile Telecommunication), qui fournit depuis 1999 des fréquences de 450 à 900 MHz et dessert 180 canaux.
- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), qui fonctionne avec des bandes de fréquences comprises entre 800 et 900 MHz avec 832 canaux.

La technique d'accès utilisée pour cette génération est la FDMA (Frequency Division Multiple Access), qui consiste à donner à chaque utilisateur qui le demande une bande de fréquences dans sa cellule pour permettre l'envoi et la réception d'informations entre la station mobile et l'antenne cellulaire. Lorsque le mobile sort de la portée de sa cellule, une autre bande de fréquences qui correspond à la nouvelle cellule lui est affectée et la bande précédente est libérée et réaffectée à un autre utilisateur. La bande passante utilisée dans la première génération dépend du système, mais se situe généralement entre 15 et 30 kHz. Les terminaux de cette génération ont subi une énorme miniaturisation et devient ainsi véritablement un terminal portable [3].

Nous signalons que les réseaux cellulaires 1G ont été rendus obsolètes avec la naissance d'une deuxième génération (2G) complètement numérique, dans la prochaine sous-section, nous présenterons quelques détails sur la 2G [4].

### I.3.2 La deuxième génération « 2G »

En 1982, la conférence Européenne sur les postes et télécommunications (CEPT) a décidé de normaliser les systèmes de communication mobile dans toute l'Europe. La deuxième génération est aussi marquée par des systèmes ayant été définis et déployés à travers le monde. Cette génération repose principalement sur les normes suivantes [3] :

- GSM (Global System for Mobile (2G)).
- GPRS (General Packet Radio Service (2.5G)).
- EDGE (Enhanced Data Rate (2, 75 G) for GSM Evolution).

#### I.3.2.1 GSM (Global System for Mobile)

Le GSM est la première norme de téléphonie mobile numérique. Il a connu un grand succès, grâce à ces petits équipements terminaux qui sont plus facile à transporter, avec plus d'autonomie et à moindre coût.

##### Caractéristiques de GSM

La norme GSM stipule que les téléphones mobiles GSM occupent deux bandes de fréquences 900 [MHz] :

- La bande de fréquence : 890 – 915 [MHz] pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).
- La bande de fréquence : 935 – 960 [MHz] pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Étant donné que chaque canal utilisé pour une communication a une bande passante de 200 [kHz], donc ils existent 124 canaux réparties entre différents opérateurs. A mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, une bande de fréquences supplémentaire doit être attribuée autour de 1800 [MHz]. Par conséquent, nous avons adopté la technologie GSM 900 [MHz] à la bande de fréquences ouverte des fréquences plus élevées, ceci est DCS-1800 (Digital Communication System). En termes de protocoles et de services, ses fonctionnalités sont presque les mêmes que celles du GSM.

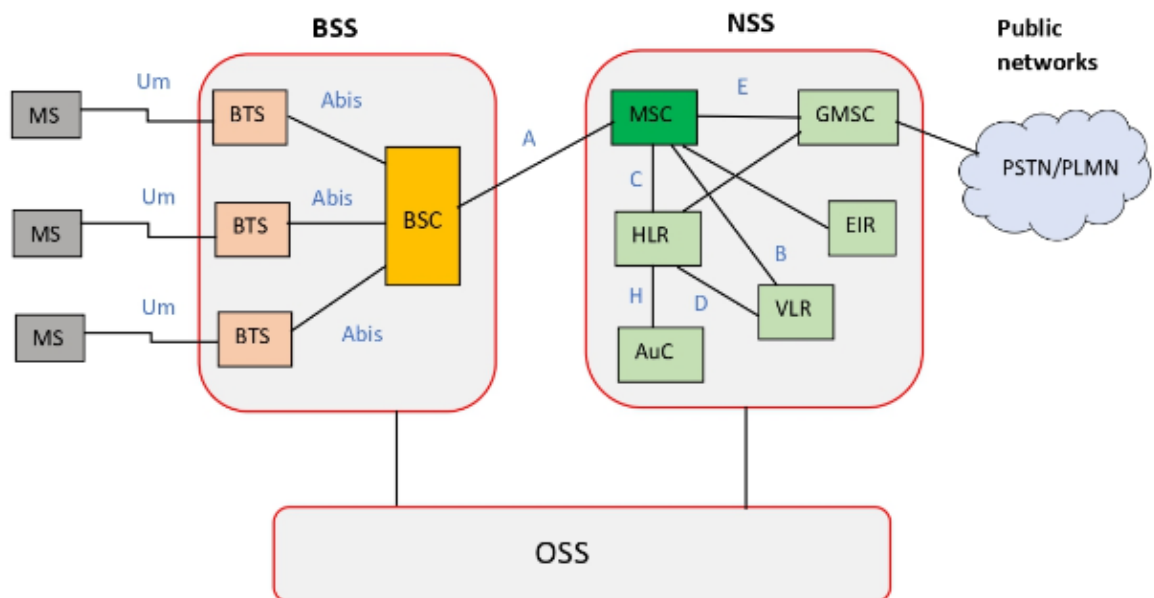
- La bande de fréquence 1710-1785 [MHz] pour les liaisons montantes (du mobile vers la station de base).
- La bande de fréquence 1805-1880 [MHz] pour les liaisons descendantes (de la station de base vers le mobile).

Après avoir connu les différents canaux disponibles, la réutilisation des fréquences peut être effectuée en attribuant un certain nombre de fréquences porteuses à chaque station de base, ce qui est appelé

accès multiple par répartition en fréquence (FDMA). Cependant, l'opérateur n'attribue pas de bande de fréquences pour chaque utilisateur, car cela entraînera un gaspillage de ressources radio lors de l'envoi intermittent. De plus, dans un tel système, si une source d'interférence émet du bruit à une fréquence prédéterminée, le signal dans la bande de fréquence contenant l'interférence sera interféré. Pour résoudre ces problèmes, le multiplexage fréquentiel est associé au multiplexage temporel (appelé accès multiple par répartition dans le temps ou TDMA), qui consiste à diviser chaque canal de communication en tranches de 8 tranches de temps (dans le cas du GSM).

### ✚ Architecture du GSM

L'architecture du réseau GSM peut être composée essentiellement de deux sous-systèmes comme il est illustré dans la figure ci-dessous. Sous-système radio BSS (Base station Sub-System) et sous-système réseau NSS (Network Sub-System).



**Figure I.2 :** Architecture du réseau GSM [5].

- **Le sous-système radio BSS (Base station Sub-System) :** gère la partie radio des communications constitué de plusieurs BTS (Base Transceiver Station), les BTS sont des émetteurs-récepteurs contrôlés par des BSC (Base Station Controller). Elles couvrent une zone géographique où se trouve le terminal mobile MS de l'utilisateur.
- **Le sous-système réseaux NSS (Network SubSystem) :** contient les commutateurs du cœur de réseau MSC (Mobile services Switching Center) qui sont reliés avec les bases de données VLR (Visited Location Register) et HLR (Home Location Register).

En plus, le centre d'exploitation et de maintenance. Cette partie du réseau regroupe les activités de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

### **I.3.2.2 GPRS (General Packet Radio Service (2.5G))**

GPRS est une technologie de commutation de paquets constitue une couche supplémentaire rajoutée au réseau GSM existant. Le GPRS appelée aussi 2.5G, il a apporté des changements par rapport au GSM comme : l'augmentation de débit, nouveaux services offerts et aussi une meilleure gestion de la qualité de service.

Le débit maximal du GPRS est de 17,2 Kb/s en utilisant les huit slots horaires en même temps. C'est environ 3 fois plus rapide que la transmission sur les réseaux de télécommunications fixes.

Avec le GPRS, les informations sont divisées en paquets distincts mais pertinents avant d'être envoyés et regrouper à la réception. Lors du changement de paquets, les ressources radio GPRS ne sont utilisées que lorsque les utilisateurs envoient ou reçoivent des données. Ici, elles peuvent être partagées simultanément entre plusieurs utilisateurs [6].

#### **✚ Architecture du GPRS**

GPRS a besoin de certaines modifications sur l'architecture GSM comme les montres la figure I.3.

Les nœuds ajoutés au GSM sont :

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) : est utilisé pour fournir la sécurité, l'accès au contrôle et de localisation des unités mobiles.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : utilisé pour fournir un routage vers et depuis la station mobile, généralement connecté au SGSN via le réseau fédérateur GPRS sur IP.



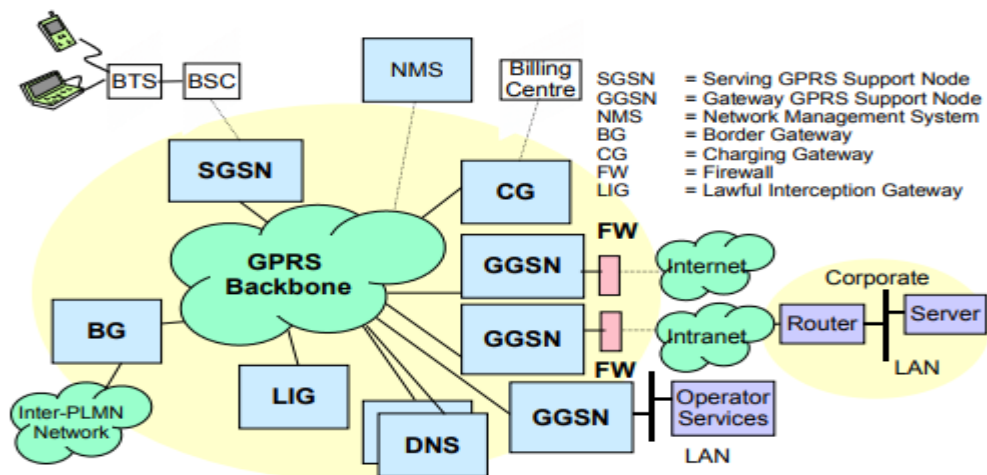


Figure I.3 : l'architecture du GPRS [7].

### I.3.2.3 EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution (2.75))

EDGE signifie taux de données améliorés pour l'évolution GSM, appelée aussi 2.75G. Il s'agit d'un système de données utilisé sur haut des réseaux GSM. Il offre des vitesses près de trois fois plus rapides que le GPRS. Il prend en charge des nouvelles applications pour améliorer les capacités de communication mobile. Il travaille sur une nouvelle modulation (8 PSK) et un nouveau système de codage afin de fournir des taux de données plus élevés. Le système de station de base nécessite également une ancienne version d'équipement de GSM, donc EDGE peut être active en activant la fonction de GSM.

Après ce changement de l'analogique vers le numérique, le monde a besoin de surfer sur le web, envoyer des photos, des vidéos. Ces besoins ont donné la naissance de la troisième génération qui sera expliqué dans la prochaine sous-section.

### I.3.3 La 3ème génération « 3G »

La troisième génération de réseau mobile regroupe deux familles de technologie ayant connu un succès commercial : l'UMTS issu de GSM et le CDMA 2000 issu de l'IS-95. Parmi ces derniers, nous intéressons par l'UMTS.

La différence la plus évidente par rapport à la deuxième génération est que le mode paquet est complètement introduit, toutes les informations sont mises en paquets et transmises dans le réseau. L'augmentation de débit est très impressionnante, elle a atteint 384 Kbit/s dans les services du marché, et devrait être proche de 2 Mbit /s, et la portion du spectre consacrée à la troisième génération est relativement faible et il ne faut pas s'attendre à un trafic très élevé pendant les heures de pointe.

Le fonctionnement de la 3G a introduit le principe de la numérotation unique. Bien entendu, après authentification, le propriétaire de numéro peut l'utiliser sur tous les appareils. En d'autres termes, l'utilisateur d'un équipement terminal porte avec lui son abonnement et l'utilise, avec les contraintes liées à l'équipement terminal dans des conditions plus compatibles avec l'abonnement. Une autre utilisation potentielle pour les particuliers (particuliers et professionnels) disposant de deux abonnements est de leur permettre d'être appelés de n'importe où dans le monde, quel que soit le numéro utilisé. Selon la sonnerie, il peut savoir s'il appelle son propre numéro privé ou le numéro privé de l'entreprise [3].

### **I.3.3.1 Objectifs de réseau UMTS**

La troisième génération améliore la qualité du service fourni auparavant. En outre, les réseaux IMT 2000 (tels que l'UMTS) cherchent à fournir de nouveaux développements importants, y compris l'itinérance mondiale, des services à large bande, des services audiovisuels et l'utilisation d'un seul service Terminal dans différents environnements radio.

Un autre objectif du réseau de troisième génération est de rendre les services fixes et appareils mobiles compatibles pour fournir aux utilisateurs des services de bout en bout transparents [3].

### **I.3.3.2 Les caractéristiques techniques de 3G**

Les caractéristiques de la 3<sup>ème</sup> génération est comme suit :

- L'UIT-T a commencé ce travail en 1990 sous le nom de FPLMTS (Futur Public Land Mobile Telephone System) puis IMT 2000, avec une fréquence de 2 GHz et une largeur de bande d'environ 250 MHz.
- Le codage numérique utilisé pour la transmission vocale permet un débit binaire de 2 Kbit / s. Les images animées sont transmises par compression MPEG-2 ou MPEG-4.
- Plusieurs types de modulation pour la transmission de signaux numériques ont été étudiés, ce sont des extensions de la modulation classique en fréquence, amplitude et phase.
- Utilisez les technologies FDMA, TDMA et CDMA pour accéder aux canaux radio. FDMA et TDMA ont été utilisés dans la génération précédente et les réseaux par satellite, mais l'inconvénient est que la réutilisation des canaux radio dans la cellule concernée provoquera des interférences.
- La méthode principale de la troisième génération est CDMA, les stations mobiles dans la même cellule utilisent la technologie à spectre étalé pour partager un canal radio. Le système attribue un code unique à chaque client, qui est utilisé pour étaler le signal dans une très grande bande passante B par rapport à la bande de fréquence du signal utile R. Plus le rapport B / R est élevé, plus le nombre d'utilisateurs potentiels s'augmente [3].

### I.3.3.3 Architecture du réseau UMTS

L'architecture du réseau UMTS est divisée en trois entités principales basées sur les éléments suivants : Les spécifications du groupe standard 3GPP (Third Generation Partnership Project) correspondent d'abord au réseau d'accès radio UTRAN (accès radio terrestre UMTS Réseau), et au CN Core Network et le troisième à UE (équipement utilisateur).

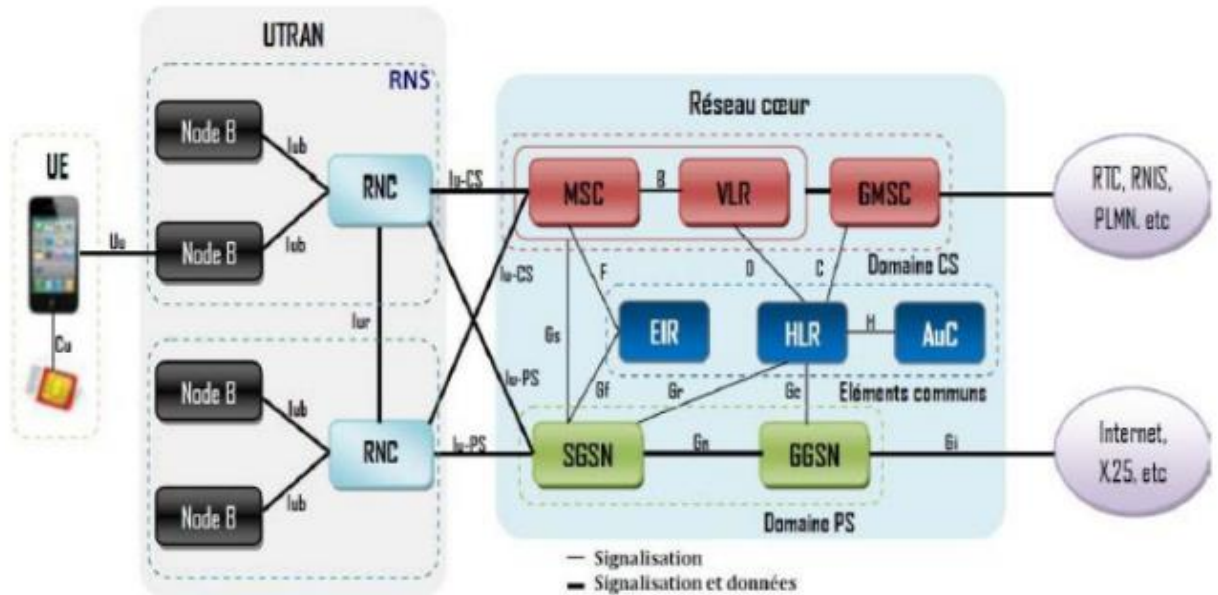


Figure I.4 : Architecture globale de l'UMTS [8].

➤ **Équipement utilisateur (UE) :** L'UE se compose de deux parties :

- **Équipement mobile ME :** Il s'agit d'un terminal radio utilisé pour les communications sur l'interface Uu.
- **USIM (UMTS Subscriber Identity Module) :** est une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, établit un algorithme d'authentification, enregistre les clés d'authentification et de cryptage, etc.

➤ **Le réseau d'accès UTRAN :** Le réseau d'accès terrestre UMTS est appelé UTRAN (UMTS terrestre radio Réseau d'accès). UTRAN est composé d'un ou plusieurs RNS (Radio Network System). Le rôle du RNS est de gérer l'allocation et la libération des ressources radio, autoriser la connexion entre UE et UTRAN et chaque RNS se compose d'un RNC (radio Contrôleur réseau) et d'un ou plusieurs nœuds B.

- **Nœud B :** C'est l'équivalent du BTS dans le réseau GSM. Ses principales fonctions sont : Gérer la couche physique de l'interface radio, gérer le codage des canaux, l'entrelacement, Ajustement de

taux, expansion et désétalement. Il est également chargé de contrôler Alimentation en boucle fermée. L'interface mobile / le nœud B est appelé interface Uu.

- **RNC (Radio Network Controller):** RNC contrôle les ressources radio de l'UTRAN et gère le RRC (radio Contrôle des ressources), qui définit les procédures et les messages entre la station mobile et UTRAN.
- **Le réseau cœur (CN) :** Il rassemble tous les appareils qui fournissent des fonctions, telles que le contrôle d'appels, contrôle de sécurité et gestion des interfaces avec les réseaux externes.
- **Domaine à commutation de paquets PS :** Utilise le protocole IP (Intranet, WAP) pour assurer la connexion aux réseaux X.25. Il est plus adapté à la transmission de données.
- **Domaine à commutation de circuits CS :** Le plus approprié pour la transmission vocale, la transmission SMS, Services de type fax et temps réel dédiés aux conversations téléphoniques (Visiophone, jeu vidéo). Ces applications nécessitent un temps de transmission et un débit rapide. Le mode circuit est de 384 kbps [8].

#### **I.3.3.4 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access: 3.5G)**

L'UMTS a promet un taux de transmission jusqu'à 2 Mb/s, ce qui permet de fournir une large gamme de services multimédias comprenant la visiophonie, la radiomessagerie, la messagerie, l'accès à Internet et les données haut débit. Cependant ; il est prévu qu'il y aura une forte demande pour les applications multi-média qui nécessitent des débits de données plus élevés au-dessus de 2 Mb/s dans les systèmes cellulaires, en particulier dans la liaison descendante, où le mobile les utilisateurs bénéficieront d'un accès Internet haut débit et de services de diffusion. Afin d'offrir de tels services de transmission de données par paquets à large bande, l'accès par paquets en liaison descendante à haut débit (HSDPA), étiqueté un système sans fil 3.5G, a été introduit dans la version 5 de l'UMTS. On s'attend que la HSDPA atteigne un débit de données maximal d'environ 10 Mb/s.

Dans HSDPA, la transmission de paquets à grande vitesse est possible en partageant dans le temps un canal de données couramment utilisé entre les utilisateurs d'accès, appelé canal partagé de liaison descendante haut débit (HS-DSCH). L'UMTS comprend déjà ce canal, mais HSDPA fournit un débit plus fort ; donc une efficacité spectrale élevée [9].

#### **I.3.3.5 HSUPA (High Speed Uplink Packet Access: 3.75G)**

La 3.75G est la version amont de HSDPA. La HSUPA est considérée comme le produit successeur de HSDPA, son trafic théorique atteint 5,8 Mb/s, le débit en aval est de 14 Mb/s. L'avantage de cette technologie est qu'elle permet d'envoyer divers documents électroniques à d'autres appareils mobiles (images, Vidéo ...), favorisant ainsi le développement de l'Internet mobile haut débit [10].

La navigation sur internet devient réellement fluide à partir de réseaux 3G, maintenant les utilisateurs cherchent un débit plus haut, ce qui ajouté dans la technologie suivante.

### **I.3.4 La 4<sup>ème</sup> génération « 4G »**

Avec l'émergence de la technologie 3G, les réseaux de télécommunications ont connu une expansion considérable. Ces réseaux permettent l'intégration de nouveaux services et un débit suffisant pour que les opérateurs puissent répondre aux demandes toujours croissantes des utilisateurs. Ce développement rapide permet aux opérateurs d'adapter leurs méthodes de planification aux nouvelles technologies, augmentant ainsi la complexité au niveau du réseau. Cela a donné la naissance du réseau 4G [11].

4G est la quatrième génération de réseau mobile. C'est la norme après 3G / UMTS. Cette génération est généralement associée au LTE (Long Term Evolution), désigné par 3GPP, utilisé pour annoncer l'arrivée de la technologie radio mobile utilisant l'OFDMA. Le premier démarche commercialement de ce dernier était en 2010 pour répondre à l'énorme demande de données mobiles. La 4G se caractérise par une mobilité accrue, des services diversifiés et des vitesses plus élevées. Sa vitesse de transmission est 50 fois supérieure à celle de la norme précédente, on estime que la vitesse théorique de la haute mobilité est de 100 Mbps et la vitesse théorique de la faible mobilité est de 1 Gbps. Les principaux standards de la quatrième génération sont : le standard WIMAX et le standard LTE [12], mais par la suite on va s'intéressé sur LTE.

Les principaux objectifs du réseau de quatrième génération sont les suivants :

- Assurer la continuité la session ;
- Réduire le temps de signalisation et le trafic ;
- Offrir une meilleure qualité de service ;
- Optimiser l'utilisation des ressources ;
- Réduire le délai d'interrogation, le délai de bout en bout, la gigue et la perte de paquets (latence) ;
- Augmenter le nombre d'utilisateurs jusqu'à 10000 utilisateurs ;
- Minimiser le coût de la signalisation [4].

#### **I.3.4.1 Les caractéristiques du LTE**

La technologie LTE est basée sur un réseau de transmission à commutation de paquets IP. Contrairement à la VoIP, elle ne propose pas le mode de transmission vocale, et à la 3G qui transmet la voix en mode circuit. La largeur de la bande de fréquences radio utilisée par la norme LTE peut varier de 1,4 MHz à 20 MHz, ce qui permet au débit binaire théorique de la liaison descendante d'atteindre 300 Mbit /s (pour 20 MHz), tandis que la "vraie 4G" offre des vitesses de liaison descendante allant jusqu'à 1 Gbit /

s. La technologie LTE est basée sur une combinaison de technologies avancées, comparées au réseau 3G existant, ces technologies peuvent améliorer considérablement le niveau de performance (vitesse et délai extrêmement élevés). Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) optimise l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences [13]. L'utilisation des techniques d'antennes multiples permet d'augmenter les canaux de transmission et augmentant ainsi le débit total et la portée.

La navigation sur internet devient réellement fluide à partir de réseaux 3G, maintenant les utilisateurs cherchent un débit plus haut, ce qui ajouté dans la technologie suivante.

### I.3.4.2 L'architecture du LTE

La 4G se caractérise par le réseau cœur qui est basé uniquement sur IP, c'est l'Evolved Packet Core (EPC). Ce changement de réseau de cœur est pour avoir une architecture simple non comme les architectures précédentes qui traitent les deux domaines (circuit et paquet). Le contrôleur de station de base (RNC) est supprimé pour avoir une architecture plus plate [14]. La figure I.5 représente l'architecture de LTE :

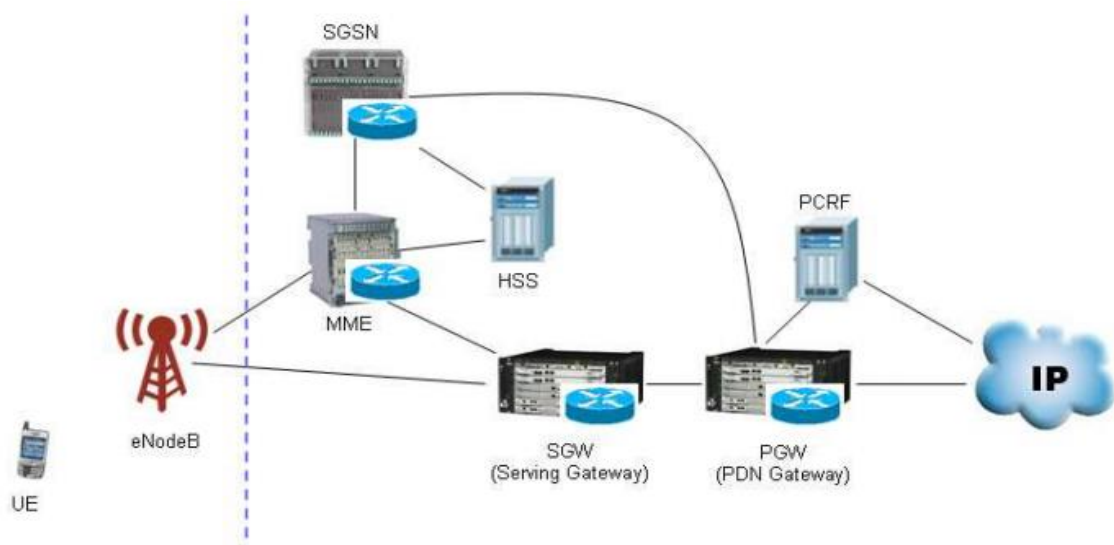


Figure I.5 : l'architecture du LTE [15].

Cette architecture est composée de deux réseaux principaux sont :

➤ **E-UTRAN** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) : se compose de [16] :

- **e-NodeB** : responsable de la gestion de radio

➤ **EPC (Evolved Packet Core)** : est le réseau de cœur du système, il se compose de :

- **MME** (Mobility Management Entity) : responsable de l'authentification et le handover
- **SGW** (Serving Gateway) : il route et transfère localement les paquets de données à l'utilisateur, et permet la connexion entre des réseaux LTE et d'autres réseaux.
- **PGW** (Packet Data Network Gateway) : gère la connexion à l'Internet et le roaming international.
- **HSS** (Home Subscriber Server) : joue le rôle de HLR/GSM et de MAP/UMTS.
- **PCRF** (Policy & Charging Rules Function) : fournit au PGW les règles de taxation.

La version suivante va apporter beaucoup de changements techniques pour augmenter le débit. Cette technologie est LTE-Advanced.

#### I.3.4.3 LTE -Advanced :

Malgré la croissance rapide des standards du Web mobile, les utilisateurs exigent toujours meilleure couverture et débit de données plus élevé. C'est pourquoi la norme de réseau mobile de quatrième génération est définie comme norme LTE-Advanced.

LTE-Advanced est une norme de réseau cellulaire offrant un débit supérieur à celle qui l'a précédée (LTE). Cette dernière est achevée fin 2011 au sein de l'ETSI (Europe Télécommunications Standards Institute) du 3GPP.

Cependant, la demande croissante de bande passante mobile signifie que les opérateurs peuvent utiliser cette technologie pour atteindre la véritable 4G tout en conservant la flexibilité du LTE au terminal (Smartphone, tablette, clé 4G) et fréquences radio et codes utilisés dans le réseau d'accès (RAN) afin de répondre au prix le plus favorable et à une demande continue de qualité.

LTE-Advanced utilise des fréquences identiques et les codages radio d'OFDMA dans la liaison descendante et SC-FDMA dans la liaison montante qui sont déjà utilisés dans la version précédente. Il peut atteindre un débit plus de 100 Mbits/s en mouvement, et 1Gbits/s à l'arrêt.

Par conséquent, cette technologie a augmenté la capacité du réseau en termes de : chaque unité peut effectuer jusqu'à 200 appels en même temps. Afin de fournir des débits de données plus élevés, les opérateurs ont adopté de nouvelles stratégies telles que l'agrégation d'opérateurs rendent les fusions possibles support LTE séparé [17].

Le tableau ci-dessous représente la différence entre LTE et LTE-Advanced :

		LTE	LTE-Advanced
<b>Débit crêtes maximums</b>	Down Link	300 Mb/s	1 Gb/s
	Up Link	75 Mb/s	500 Mb/s

Bande de fréquence		1.4 à 20 MHz	100MHz
Latence	Données	10 ms	10 ms
	Session	100 ms	50 ms
Efficacité Spectrale DL/UL	Max	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02 b/s/Hz	0.009/0.07 b/s/Hz

**Tableau I.1** : la différence entre LTE et LTE-advanced [13].

### I.3.5 La 5<sup>ème</sup> génération « 5G »

Depuis le déploiement des réseaux 2G, 3G et 4G, la quantité de trafic mobile et sans fil a augmenté de façon exponentielle. On estime qu'entre 2010 et 2020, le trafic de données mobiles a augmenté de 1000 fois. La forte augmentation du trafic est attribuée à l'augmentation du nombre d'abonnés et du nombre d'objets connectés (IoT ou Internet des Objets). L'utilisation des réseaux mobiles ne se limite plus donc à la téléphonie, aux messages courts et à la navigation sur le Web. En outre, de nouveaux services tels que la banque en ligne (e-banking), la télémédecine (e-santé), l'apprentissage en ligne (e-Learning), l'intelligence artificielle, les jeux en ligne et la réalité augmentée ont également vu le jour. Tous ces services augmentent le trafic et nécessitent des débits de transmission de données élevés et une faible latence. Pour atteindre ces objectifs, les acteurs du secteur des télécommunications ont lancé un nouveau réseau, à savoir la 5G [18].

La 5G fait référence à l'intégration transparente de versions avancées des technologies de communication actuelles avec de nouvelles technologies complémentaires pour promouvoir conjointement l'arrivée du paradigme de la société interconnectée dans les années 2020 [19].

Le réseau 5G est une nouvelle avancée dans les réseaux mobiles car il permet à ses utilisateurs de profiter de vitesses ultra-élevées tout en limitant la consommation d'énergie des téléphones intelligents. Aujourd'hui, les réseaux sans fil sont en cours de déploiement dans le monde, d'ailleurs les premiers progiciels 5G ont apparus en France l'année passée 2020 [20].

#### I.3.5.1 L'objectif du 5G

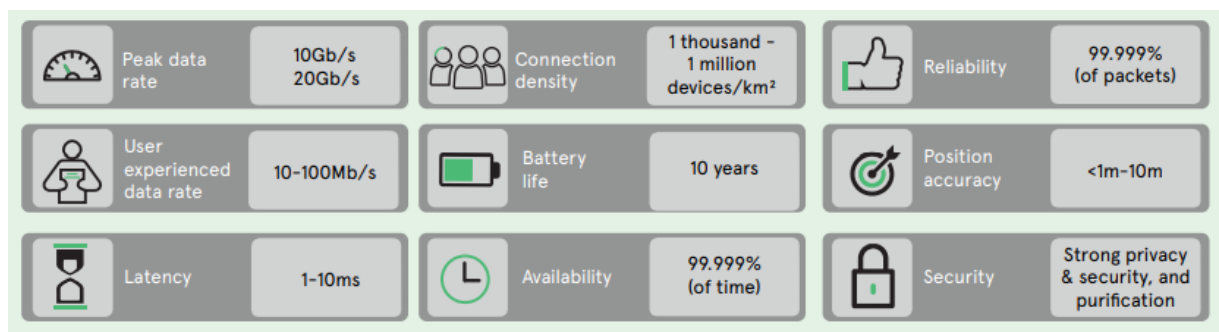
Lorsque le grand public déploie la 4G, il faut se tourner vers l'avenir pour mieux réfléchir sur la prochaine génération. C'est pour ça, l'UIT a défini la norme 5G par le biais de son organisation IMT-2020 (International Mobile Télécommunications) pour atteindre généralement les objectifs suivants [21] :

- Le temps de latence de bout en bout est réduit d'un facteur 10, le niveau de latence est inférieur à 1 milliseconde.
- Débit élevé, 1000 fois supérieur par unité de surface (1 Gb par seconde).



- Augmentation de nombre d'utilisateur jusqu'à 1 millions d'abonnés.
- Les appareils à faible consommation d'énergie ont une durée de vie de la batterie 10 fois plus longue et une consommation d'énergie moindre.
- Augmentation de 10 fois la densité de connexion : connectivité Internet (IoT)
- Peu complexe et surcharge de signal.
- Minimisation de taille des cellules et augmentation de points de relais.
- Triple efficacité du spectre : utilisation optimisée de la bande passante - Réseau économe en énergie. [22]

La figure suivante (I.6) résume les objectifs de la 5 -ème générations



**Figure I.6 :** les objectifs de réseaux 5G [23].

### I.3.5.2 Spécifications de 5G

Des prévisions du marché des communications mobiles à 2021 et des applications prises en charge par la 5G, plusieurs tendances dans la spécification peuvent être identifiées. Puisqu'aucune norme n'apparaîtra avant 2019, ces spécifications peuvent changer. Cependant, ils indiquent toujours à quoi ressemblera le réseau mobile de demain. Voici la principale spécification définie jusqu'à présent :

- Pour tout système qui doit fonctionner en temps réel (comme les voitures autonomes, la chirurgie à distance ou Internet tactile), le temps de retard est compris entre 1 milliseconde et 5 millisecondes. Le but est également de faire sentir à l'utilisateur qu'il a un accès immédiat au contenu qui l'intéresse.
- La vitesse des données a été augmentée d'environ 10 Gb / s, soit 10 fois la vitesse des applications mobiles 4G actuelles. Comme pour le temps de latence, un débit accru signifie un meilleur confort d'utilisation.
- Une amélioration de la couverture réseau est 1000 fois supérieure comparée à celle disponible en 2010 pour un accès quel que soit l'endroit où l'utilisateur se trouve, même en mobilité.
- Réduire la consommation d'énergie de 90% pour limiter l'impact sur l'environnement.
- Réduire les coûts et augmenter l'autonomie des équipements [24].

### I.3.5.3 Les familles d'usage 5G

L'UIT a défini sous le terme IMT-2020 qui est spécialisé dans le développement du réseau de cinquième génération trois grandes catégories d'usages sont :

➤ **Les communications massives de type machine (mMTC – Massive Machine Type Communications) :** l'automatisation des processus industriels avec les communications massives de type machine sont des exemples de cas d'utilisations qui seront possibles dans les futurs systèmes 5G. Ce scénario d'utilisation nécessite une bonne qualité de service en termes de réduction de la consommation énergétique, de bonne connectivité ainsi qu'une grande fiabilité [25].

➤ **La large bande mobile évolué (eMBB – Enhanced Mobile Broadband) :** dans les grands centres urbains avec une forte densité d'utilisateurs, on assiste de plus en plus à une forte demande à l'accès aux contenus, services et données multimédias. Cette demande va entraîner des exigences en termes de bande passante, ce qui va conduire à la large bande mobile évolué. Cette utilisation englobe aussi des exigences en termes de couvertures et de très haut débit mobile constant quel que soit le contexte de réception [26].

➤ **Communications ultra-fiables à très faible latence (uRLLC – Ultra-Reliable and Low Latency) :** ce scénario d'utilisation sera très important dans les futures applications nécessitant une très grande réactivité en même temps qu'une transmission extrêmement fiable. Des besoins qui se retrouvent principalement dans les transports autonomes, dans la numérisation de l'industrie, dans la chirurgie à distance, et dans les réseaux électriques intelligents [27].

La figure 1.7 illustre ces exemples de scénarios d'utilisation envisagés pour l'IMT pour 2020 et au-delà :

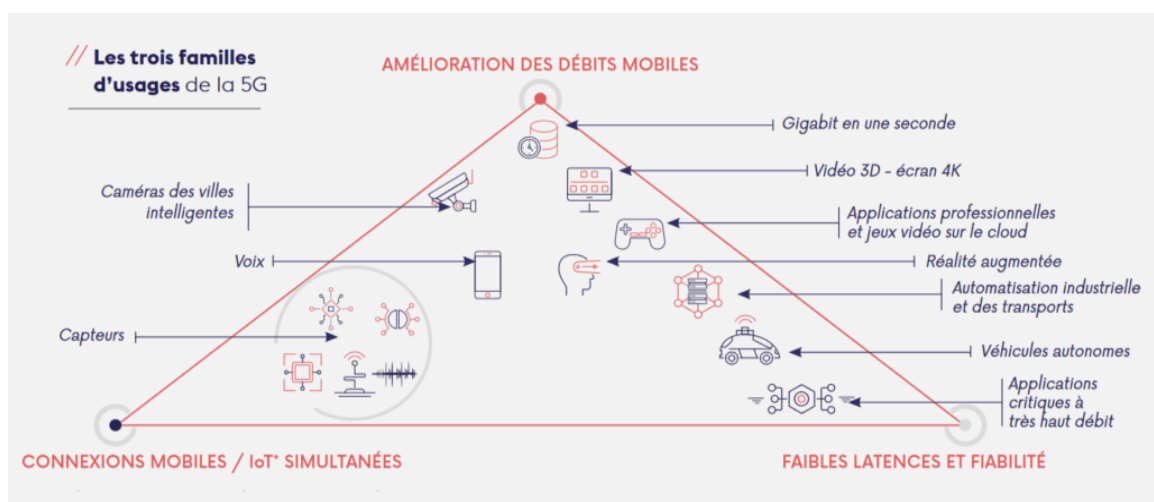
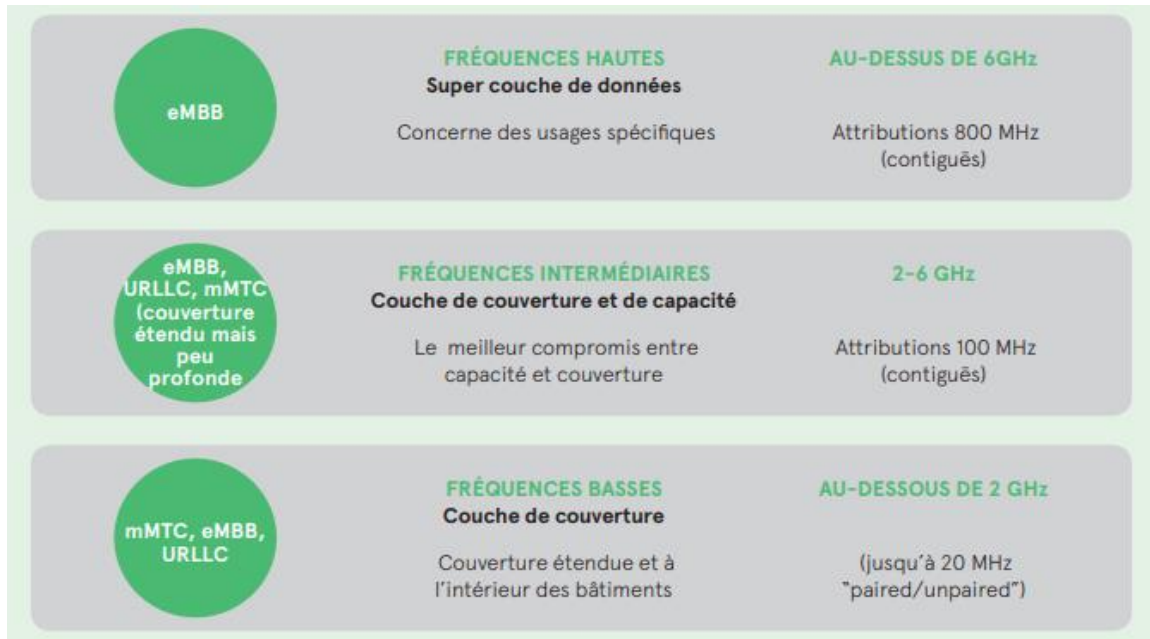


Figure I.7 : les trois cas d'utilisation de 5G [25]



**Figure I.8 :** Bandes de spectre 5G attribuées aux cas d'utilisation 5G [28].

La figure I.8 présente les bandes de spectre 5G attribuées aux cas d'utilisation 5G. La 5G nécessite un grand nombre de nouvelles gammes de fréquences mobiles unifiées, la défragmentation et la libération de bandes de fréquences de haute qualité devraient donc être une priorité absolue. Les régulateurs devraient s'engager à fournir des fréquences contiguës autour de 2 GHz pour la principale bande de fréquences intermédiaires 5G (c'est-à-dire 3,5 GHz) et la bande de fréquences millimétriques de chaque opérateur (c'est-à-dire jusqu'à 20 MHz), et pour les hautes fréquences, ils devraient s'engager à fournir 800 MHz.

La 5G a besoin de fréquences dans trois plages de fréquences clés pour offrir une large couverture et couvrir tous les cas d'utilisation. Ces fréquences sont classées comme suit :

- Les fréquences au-dessous de 2 GHz permettent une large couverture dans les zones Urbaines, suburbaines et rurales, et aident à mettre en place des services Internet des Objets (IOT).
- La plage 2-6 GHz propose un bon mélange en termes de couverture et de capacité. Cela inclut les fréquences dans la plage 3,3 et 3,8 GHz qui sont prévues pour constituer la base de nombreux services 5G initiaux. Il comprend d'autres bandes de fréquences pouvant être attribuées ou réattribuées à la 5G, dont 1800 MHz, 2,3 GHz et 2,6 GHz etc. Sur le long terme, davantage de fréquences seront nécessaires pour maintenir la qualité de service de la 5G et répondre à la croissance de la demande dans les bandes entre 3 et 24GHz.
- Les fréquences au-dessus de 6 GHz sont nécessaires pour atteindre l'ultra haut débit envisagé pour la 5G. Actuellement les bandes de fréquences 26 GHz et 28 GHz reçoivent le plus de soutien international dans cette plage [29].

### I.3.5.4 L'architecture de la 5G

L'architecture 5G présentée dans la figure 1.9 est principalement composée de trois couches horizontales, à savoir « Applications », « Forwarding » et « La virtualisation ».

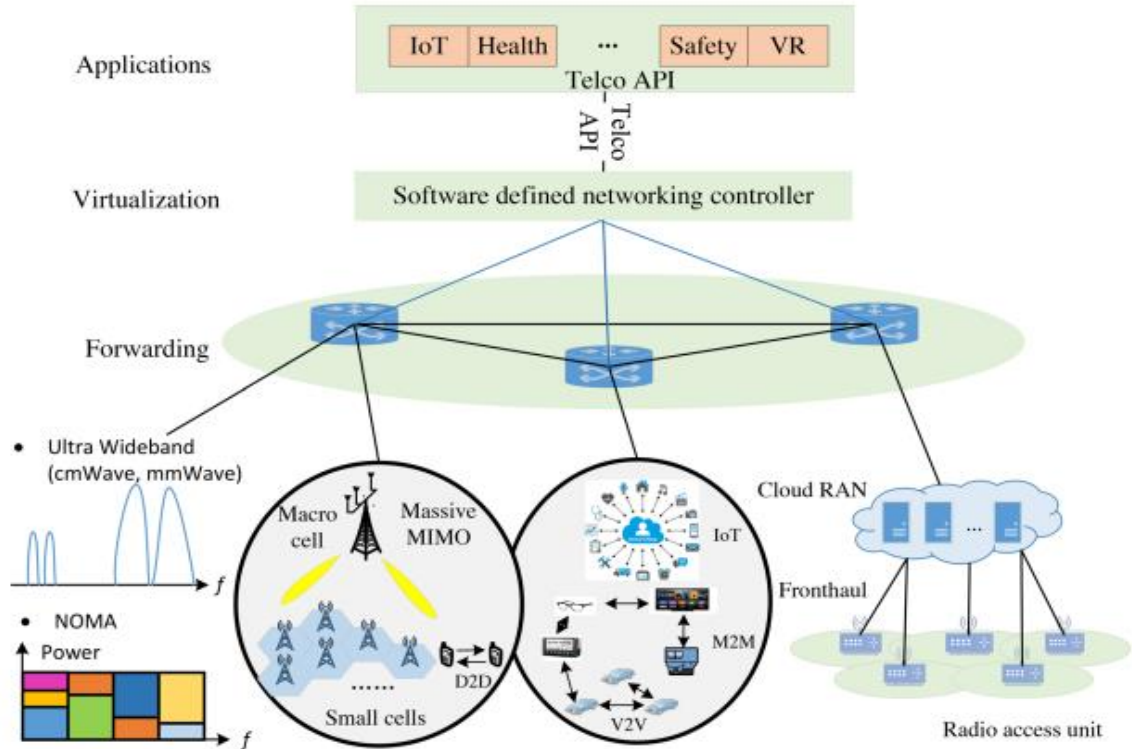


Figure I.9 : l'architecture de 5G [30].

➤ **Application :** C'est la couche supérieure qui inclut des divers services innovants. La technologie 5G vient de pénétrer dans chaque élément : le développement de la société future et la mise en place d'un écosystème d'information multidimensionnel centré et unifié pour tous. Le streaming vidéo en ultra-haute définition va être un des services dominants qui offre des expériences utilisateur virtuelles telles que le streaming vidéo multi-view, aussi les hologrammes. La 5G nous offre au plus de la fiabilité, une bande passante assez élargie qui facilite la tâche du contrôle des robots à distance et des divers services d'Internet des objets (IoT) [31].

➤ **Forwarding:** C'est la couche intermédiaire comporte un réseau sous-jacent à une infrastructure orientée services. Elle se compose de deux activateurs clés qui représentent l'avenir de télécommunication, pour effectuer cette tâche SDN et NFV.

- **SDN (Software Defined Networking):** consiste à séparer la partie de contrôle du réseau de la partie opérationnelle du réseau. Le contrôle du réseau est concentré sous forme des logiciels sur des

serveurs plus puissants. Cela permet de déployer des services à forte valeur tels que la répartition de charge, routage intelligent et la configuration dynamique... [32].

- **NFV** (Network Function Virtualization) : un complément au SDN dont le but est la virtualisation, remplacée par un logiciel sur le serveur, qui vise à accélérer le déploiement et à permettre des changements rapides.

➤ **La virtualisation (RadioHyper-Connecté)** : C'est la couche inférieure qui fournit une quantité importante de données à la couche intermédiaire de manière efficace et transparente. En raison de l'énorme trafic et des exigences strictes de latence, contient les technologies suivantes :

- Ondes millimétriques
- Les communications full duplex
- Massive MIMO (multiple inputs – multiples outputs)

Mais par la suite on va détailler seulement sur les ondes millimétriques et les communications Full Duplex car la Massive MIMO n'est pas inclus dans notre étude

### I.3.5.5 Les fréquences de la 5G

En général, la gamme de fréquences de 700 MHz à 6 GHz est attribuée à des systèmes sans fil avec un accent toujours mis sur le déplacement des stations de télévision d'espaces blancs vers les fréquences inférieure à 700 MHz. La 5G est envisagée non seulement dans ce spectre de fréquences, mais aussi d'étendre les opérations à travers les bandes centimètre (cm) et millimètre (mm) jusqu'à 100 GHz.

Au-dessous de 6 GHz, les systèmes 5G entreront et coexistent avec des systèmes 4G. La gamme 6 – 100 GHz offre une plus grande bande passante, avec une couverture plus faible en raison de perte de chemin à ces hautes fréquences. Dans ce défi de spectre, la couverture contiguë sera fournie à l'aide des petites cellules en réseau, des techniques multi-transporteurs et des bandes passantes très larges du canal, aussi élevée que 1960 MHz. D'où, la 5G est éminemment adaptée à la communication des appareils à haute densité dans les applications IoT. L'utilisation sera faite de l'interface aérienne unifiée et une programmation hiérarchique pour l'accès à la radio et backhaul qui permettent un backhauling flexible et à faible coût Ultra Dense Networking (UDN) [33].

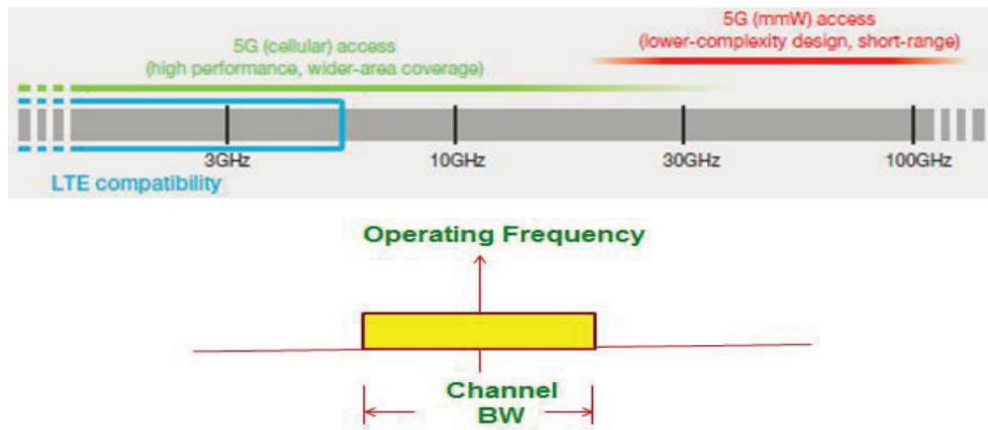


Figure I.10 : Les fréquences de fonctionnement de la 5G [34].

### I.3.5.6 Les technologies clés de la 5G

La 5G intègre des technologies qui ont été utilisées dans la 4G LTE (par exemple, la bande de fréquences 4G), mais diffère sur plusieurs aspects très importants, et ces technologies peuvent être en mesure de faire face aux défis posés par la croissance du trafic de données. Ils contribueront à augmenter la capacité, à améliorer l'efficacité énergétique et à réduire l'utilisation du spectre. En outre, ils permettront une meilleure évolutivité et fiabilité du réseau [35]. Nous décrivons brièvement les principes de ces nouvelles technologies dans ce qui suit [36] :

➤ **Les ondes millimétriques (OMM) :**

Les ondes millimétriques sont tous les ondes dont la fréquence est comprise entre 30 et 300 GHz avec une longueur de 1 jusqu'à 10m. Elles sont utilisées dans la technologie 5G pour la raison de leur importante bande passante.

Les ondes millimétriques fournissent une communication sécurisée et une transmission à haut débit jusqu'à 10 Gbits/s ; avec une taille réduite des éléments rayonnants. Elles ont des interférences faibles par rapport aux autres systèmes [37].

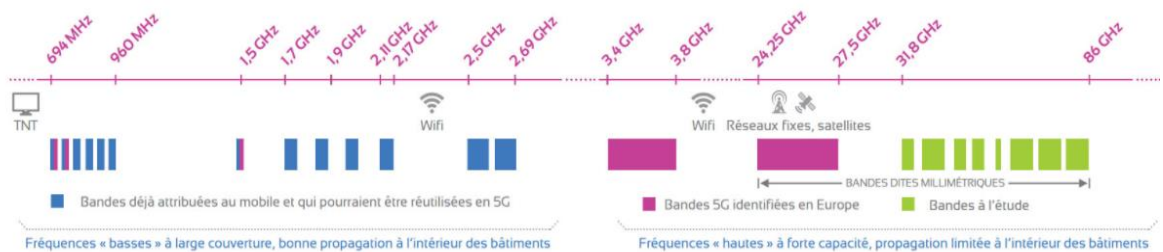


Figure I.11 : Ondes millimétriques.

### ➤ Les micros-celles

De nos jours, les réseaux hétérogènes sont généralement associés à des cellules appelées « petites cellules ». La particularité de cette cellule est qu'elle présente un rayon de couverture réduit et offre donc un débit élevé à ses utilisateurs, directement du fait que moins de terminaux partagent des ressources temps / fréquence. De cette manière, il peut facilement compléter une cellule avec une zone de couverture plus large, mais à un taux inférieur (macro-cellule). Lorsque la transmission d'informations est attribuée à de petites cellules au lieu de macro cellules, on parle également de déchargement de données.

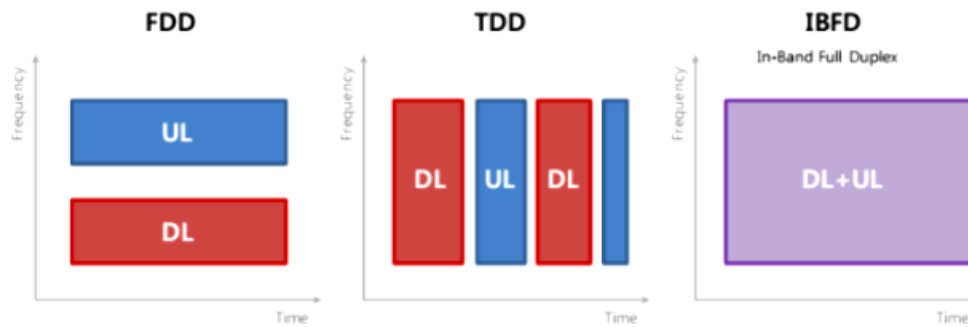
La densification de ces petits réseaux cellulaires relève entièrement les problèmes de la 5G, qui peut à la fois améliorer l'efficacité énergétique (par le simple fait de réduire la taille des cellules) et répondre aux futurs besoins de débit. Cette densification devra également pouvoir résister à ces hauts débits de retour. L'utilisation de Massive MIMO pour le backhaul sans fil est une solution intéressante. Par conséquent, à long terme, la station de base (SB) de la macro cellule n'utilisera la transmission de données de la petite cellule que pour dédier ses activités à la signalisation et au backhaul.

### ➤ Beamforming

Le Beamforming est la possibilité d'ajuster le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes selon un modèle spécifique. Cette technique consiste à focaliser les ondes en direction de chaque objet spécifique. Cette précision réduit les interférences et améliore l'efficacité du signal, de sorte qu'elle consomme moins d'énergie tout en économisant la bande passante et l'énergie. La fréquence de chaque faisceau sera adaptée aux besoins de l'application

### ➤ Full-Duplex :

Le Full-Duplex est une connexion série ou réseau qui permet la réception et la transmission simultanées de données. Le mode full-duplex a été testé dans la première phase du test 5G. Selon le premier test, ce mode permet l'utilisation de la technologie en cascade à trois niveaux pour envoyer et recevoir simultanément des données sur la station de base, c'est-à-dire une annulation analogique passive. Dans des conditions réelles, il dépassera 113 dB, assurant ainsi une augmentation de 90% du débit du système. Cette technologie s'appelle le duplex intégral, ce qui peut doubler la capacité de la couche physique la plus élémentaire d'un réseau sans fil : imaginez que deux personnes se parlent en même temps, mais qu'elles peuvent toujours se comprendre. Ce qui signifie que leur conversation peut prendre la moitié du temps et que la discussion suivante peut commencer plus tôt [36].



**Figure I.12 :** le système Full-duplex pour la 5G [38].

### I.3.5.7 Les inconvénients des ondes millimétrique

La 5G utilise des fréquences très élevées (fréquences extrêmement élevées ; "mm Waves") ; c'est l'un de ses éléments les plus typiques. Aux États-Unis, la fréquence de fonctionnement de la plupart des systèmes de communication est inférieure à 3 GHz. Pour la 5G, cinq bandes de fréquences seront utilisées : quatre bandes de fréquences sans licence et une bande de fréquences sous licence. La bande de fréquences approuvée LMDS9 fournit environ 1,5 GHz de bande passante entre 27,5 et 31,5 GHz. Certains appareils Wifi utilisent déjà la deuxième bande 7 GHz, qui fonctionneront dans la plage 57-64 GHz. Enfin, la soi-disant « bande E » se compose de trois bandes avec une bande passante totale de 12,9 GHz. Ces bandes haute fréquence sont différentes en raison de leur vitesse. Si le signal radio est correctement encodé, la vitesse 5G sera mille fois plus rapide que la génération précédente de téléphones mobiles. Ces bandes de fréquences sont presque équivalentes à la totalité.

Cependant, cette augmentation de fréquence n'est pas sans conséquences, quel que soit le domaine d'utilisation. Nous citons par exemple :

➤ **Absorption d'eau et d'oxygène :** Ces fréquences élevées sont facilement absorbées par l'humidité de l'air et certaines sont absorbées par l'oxygène. Les fréquences de 22 et 183 GHz peuvent être absorbées par l'eau. La fréquence de l'oxygène lui-même est de 60 et 118 GHz. En d'autres termes, s'il pleut, les communications mobiles utilisant les fréquences 5G peuvent être interrompues ou sa qualité peut être dégradée.

➤ **Incapacité à pénétrer :** Ces ondes à haute fréquence ne peuvent pas traverser les murs des bâtiments ou la végétation dense (forêt ou même une rangée d'arbres). En conséquence, si l'infrastructure physique 3G / 4G actuelle est réutilisée comme la 5G, elle ne fonctionnera pas car ces comportements fluctuants sont différents. Plus précisément, cela signifie que la distance minimale entre l'antenne relais cellulaire et le récepteur de l'utilisateur (téléphone mobile) doit être fortement réduite. Ces faiblesses ont conduit à l'émergence d'une nouvelle infrastructure et architecture de réseau 5G, et comme nous le verrons, cette



nouvelle architecture a également jeté les bases de la diffusion de nouveaux services et modèles commerciaux (non seulement pour les consommateurs, mais aussi pour les opérateurs) [39].

### **I.3.5.8 Performance et qualité de service (Qos)**

La qualité de service (Qos) est la capacité à véhiculer un type de trafic donné dans des bonnes conditions qui répondent aux exigences en termes de temps, débit, gigue et taux de perte de paquets [40].

La virtualisation d'un réseau et d'une infrastructure ICT peut poser plusieurs défis dans le niveau de QoS qui peut être garanti par les ressources virtualisées à chaque niveau. Les comportements de performance (en termes, de bande passante, de retard, de nervosité) des ressources réseau virtualisées (par exemple nœuds, liens) peuvent être gravement perturbés si les techniques d'isolement QoS appropriées ne sont pas appliquées lors de la mise en œuvre de la virtualisation. Cela s'applique aux techniques de virtualisation des plans de données passées et présentes et à venir. De plus, le défi est rendu plus complexe par la nature (par exemple, déterministe ou le multiplexage statistique) et l'hétérogénéité (réseaux virtuels constitués d'homogènes et d'hétérogènes technologies et ressources) du plan de données physiques à virtualiser [22]

### **I.3.5.9 Les avantages des réseaux sans fil (5 G)**

Entre les avantages de la 5<sup>ème</sup> génération on cite les suivant :

- La bande passante spectrale supérieure à 40 GHz sur chaque canal.
- Intégrez l'intelligence artificielle à la 5G grâce à une technologie informatique portable avancée.
- La 5G prend en charge entrées multiples et sorties multiples (MIMO), ce qui la rend plus économe en énergie.
- Consommez moins de batterie et offrez une large couverture à un coût réseau inférieur.
- La technologie 5G par rapport à la 4G offrira un débit supérieur à 1Gbit/s, une efficacité supérieure, une fiabilité supérieure et un réseau hautement sécurisé [41].

## I.4 Récapitulation

Selon le travail que nous avons fait concernant les différentes générations de la 1G vers la 5G, nous pouvons le récapituler dans le tableau suivant :

Année d'utilisations	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030
Bandes passantes	150/900 MHz	900MHz	100MHz	100MHz	3.5 GHz
Fréquences	30khz	1.8GHZ	1.6-2.0 GHZ	2-8 GHZ	3-300 GHZ
Vitesse de connexion	2Kb/s	64Kb/s	144Kb/s-2Mb/s	100Mb/s-1Gb/s	1Gb/s <
Caractéristiques	Réseau de communication sans fil	Internet	Internet haut débit	Débit plus rapide et accepte toutes les IP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (mMTC)</li> <li>• (eBB)</li> <li>• (uRLLC)</li> </ul>
Technologies	analogique	Numérique GSM, GPRS, EDGE	UMTS, HSDPA, HSUPA	WIMAX, LTE, LTE-Advanced	IoT (internet des objets)

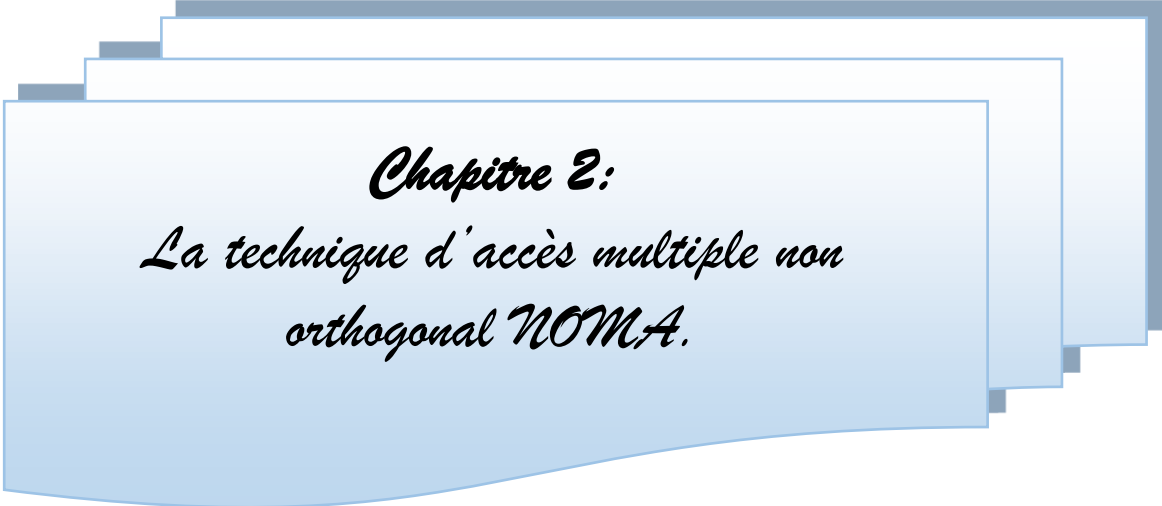
**Tableau I.2:** la comparaison de différentes générations.

## I.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté et présenter l'évolution des réseaux mobile ce qui met en accent le constant changement qu'a subi la technologie, cette dernière facilite plusieurs taches et elle a influencé le courant de notre vie. On a commencé notre étude par la première génération en suite la deuxième génération GSM et son architecture, le GPRS, l'EDGE puis le réseau UMTS ainsi que ses deux évolution HSDPA et HSUPA, après le réseau LTE et le LTE Advanced.

Par la suite on a focalisé sur la cinquième génération qui est l'améliorations et sommation de plusieurs technologies utilisée dans les autres standards comme on déjà cité (4G, 3G ...etc.), on a introduit quelques notions de bases sur les réseaux 5G, ses défis et fréquences, ainsi que, son architecture et ses avantages.

Le chapitre suivant sera consacré à la recherche théorique de la technologie accès multiple non orthogonal, pour déploiement du réseau mobile sans fil 5G.



*Chapitre 2:*  
*La technique d'accès multiple non*  
*orthogonal NOMA.*

## II.1 Introduction

Les réseaux sans fils d'aujourd'hui allouent les ressources radio aux utilisateurs sur la base du principe d'accès multiple orthogonal (OMA). Cependant, à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, les approches basées sur l'OMA peuvent ne pas répondre aux exigences émergentes strictes, notamment une efficacité spectrales très élevée, une latence très faible et une connectivité massive des appareils. NOMA a été proposé comme technologie d'accès radio pour les systèmes cellulaires 5G.

NOMA est une technologie d'accès radio prometteuse pour améliorer l'efficacité spectrale. Contrairement aux méthodes d'accès orthogonal, tel que l'OFDMA, NOMA peut multiplexé en puissance plusieurs signaux sur une même ressource radio. Dans ce chapitre, nous présentons les principes fondamentaux de NOMA en tant que future technologie d'accès radio.

## II.2 Principe de fonctionnement de NOMA

Dans cette section, nous décrivons le concept général du NOMA, y compris le multiplexage de l'utilisateur au niveau de l'émetteur de la station de base et la séparation des signaux au niveau du terminal de l'utilisateur. Nous supposons un système de liaison descendante avec un seul émetteur et un seul récepteur d'antenne BS située au centre de la cellule, comme illustré à la figure II.1. Le signal de la BS est attribué de manière cohérente à  $M$  utilisateurs dans le rayon de cellule  $R$  avec  $S$  sous-canaux. Le système attribue différents niveaux de puissance aux utilisateurs en fonction de nombreux facteurs tels que la distance, l'indication de la force du signal reçu, etc.

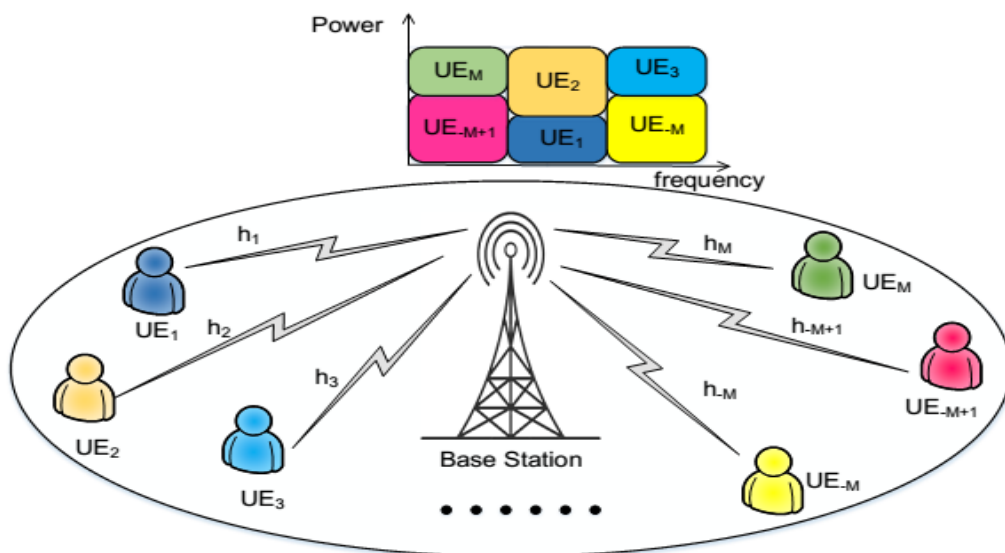


Figure II.1 : les performances globales de deux utilisateurs [42].

En général, les schémas NOMA existants peuvent être classés en deux catégories : le NOMA du domaine de puissance et le NOMA du domaine de code. Le premier attribue un niveau de puissance unique à un utilisateur et plusieurs utilisateurs transmettent leurs signaux en partageant les mêmes ressources de code temps-fréquence, chacun utilisant sa puissance allouée [42]. Le niveau de puissance d'un utilisateur est décidé en fonction de son gain de canal : un utilisateur avec un gain de canal plus élevé se voit souvent attribuer un niveau de puissance inférieur. Aux extrémités de réception, les signaux des différents utilisateurs peuvent être séparés en exploitant la différence de puissance des utilisateurs basée sur le domaine SIC. Code NOMA s'appuie sur des livres de codes, des séquences d'étalement, des motifs d'entrelacement ou des séquences de brouillage pour allouer des ressources aux utilisateurs de manière non orthogonale.

### II.2.1 NOMA dans le domaine de code :

NOMA dans le domaine de code est basé sur le CDMA qui permet à plusieurs utilisateurs de partager les mêmes ressources radio, tout en utilisant leurs codes uniques. Ces codes sont bien conçus afin d'offrir une orthogonalité entre les utilisateurs. Les codes utilisés pour NOMA sont choisis d'une manière à avoir des bonnes valeurs d'inter corrélation et d'auto corrélation pour minimiser les interférences d'accès multiple (MAI) et les interférences entre symboles (ISI) sans qu'ils soient orthogonaux. Plusieurs études ont fait et plusieurs codes sont proposés dans ce contexte [43].

### II.2.2 NOMA dans le domaine de puissance (PD-NOMA)

La technologie PD-NOMA permet à de nombreux utilisateurs d'accéder à toutes les ressources de fréquence et de temps. Selon le mécanisme de superposition de code (SC), cela améliorera l'efficacité spectrale. Ce dernier est principalement basé sur le multiplexage de différents signaux provenant des utilisateurs, en attribuant différents niveaux de puissance à chaque signal, qui dépend de l'état du canal de chaque utilisateur; afin de garantir que les performances du système sont maximisées.

La figure II.2 présente un système NOMA simple composé d'une seule station de base et de deux utilisateurs, chacun équipé d'une seule antenne. Supposons que  $x_1$  et  $x_2$  soient les signaux à transmettre de la BS à l'utilisateur 1 et 2, respectivement. Lors de la réception, la détection de divers signaux utilisateur est effectuée par le détecteur SIC, où les signaux sont décodés successivement. A ce moment, lorsque le signal est décodé, le signal est soustrait du message reçu, puis le signal de l'utilisateur suivant est décodé [43].

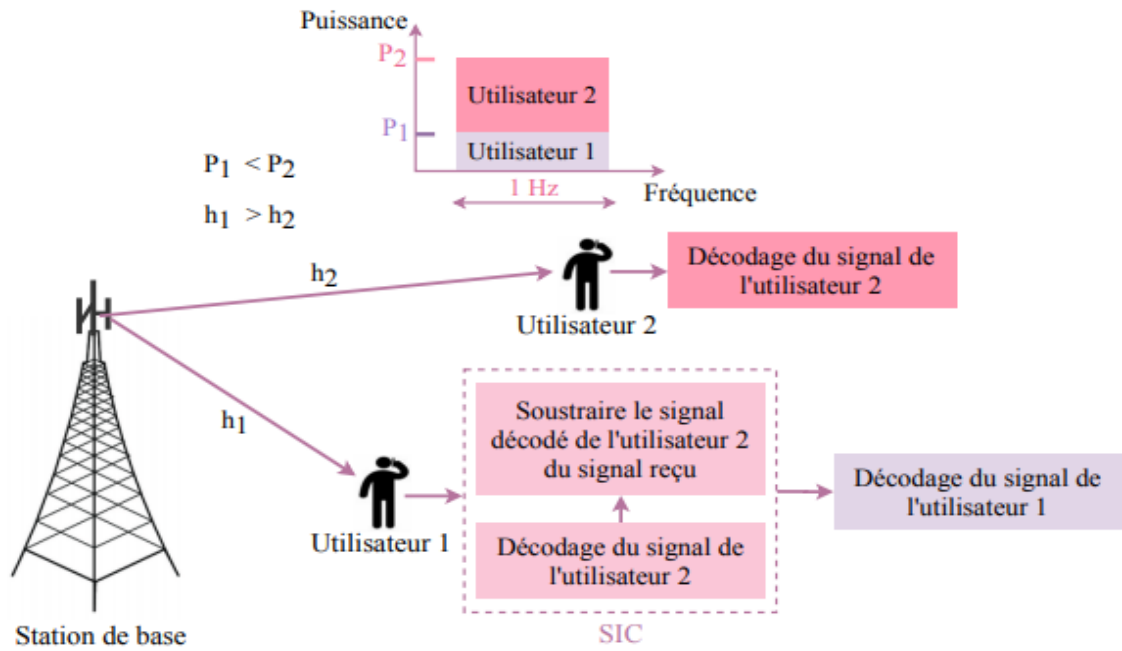


Figure II.2 : Les mécanismes de la PD-NOMA [29].

### II.3 La différence entre NOMA et OMA

Jusqu'à présent, les systèmes de communication sans fil utilisaient des techniques orthogonales à accès multiple (OMA), dans lesquelles les ressources sont allouées orthogonalement à plusieurs utilisateurs. (FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA), ces ressources peuvent être dans le domaine du temps, de la fréquence ou du code.

Idéalement, en OMA, l'interférence intracellulaire n'existe pas en raison de l'allocation orthogonale des ressources entre les utilisateurs. Pour cette raison, les informations de plusieurs utilisateurs peuvent être récupérées avec une faible complexité. Cependant, le nombre d'utilisateurs desservis est limité par le nombre de ressources orthogonales.

Inversement, NOMA dessert plusieurs utilisateurs simultanément en utilisant les mêmes ressources spectrales ; cependant, au prix d'une augmentation des interférences intracellulaires. Pour atténuer ces dernières, NOMA exploite l'annulation d'interférence successive (SIC) au niveau des récepteurs [44]. De plus, NOMA prend en charge une faible latence de transmission et le coût de la signalisation par rapport à OMA conventionnel où chaque utilisateur est obligé d'envoyer une demande de programmation de canal à sa station de base de desserte [45]. Bien que la technologie OMA offre des gains acceptables, compte tenu de l'efficacité du spectre et des exigences de l'Internet des objets (IoT) pour la 5G, la technologie NOMA offre un meilleur choix en termes de qualité de service.

La figure II.3 illustre la comparaison entre NOMA et OMA :

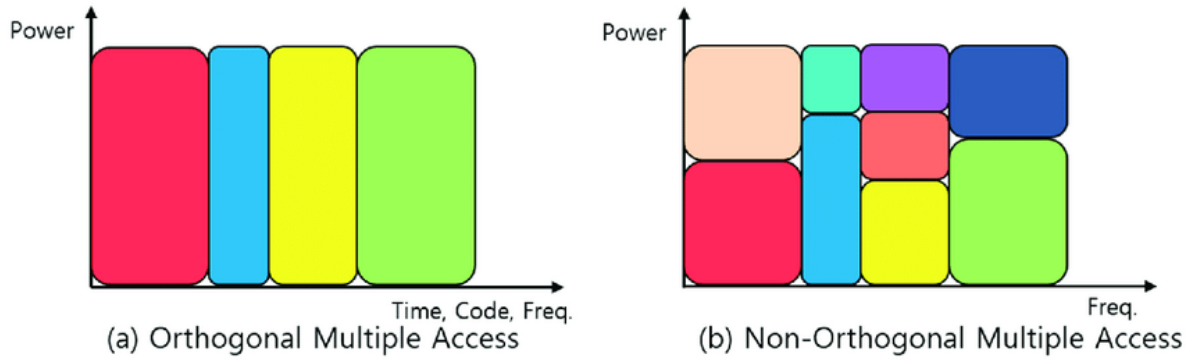


Figure II.3 : comparaison entre NOMA et OMA [46].

## II.4 Modèle de Système Proposé sur NOMA

L'accès multiple non orthogonal (NOMA), en tant que technologie prometteuse du réseau cellulaire de cinquième génération (5G), a attiré beaucoup d'attention en raison de sa capacité à améliorer le débit du système et à s'adapter à la connectivité à grande échelle [47].

Pour cela on va étudier le modèle de système de cette technique qui est comme tous modèle de transmission se compose de trois partie : émetteur, canal et récepteur (voir la figure (II.4)).

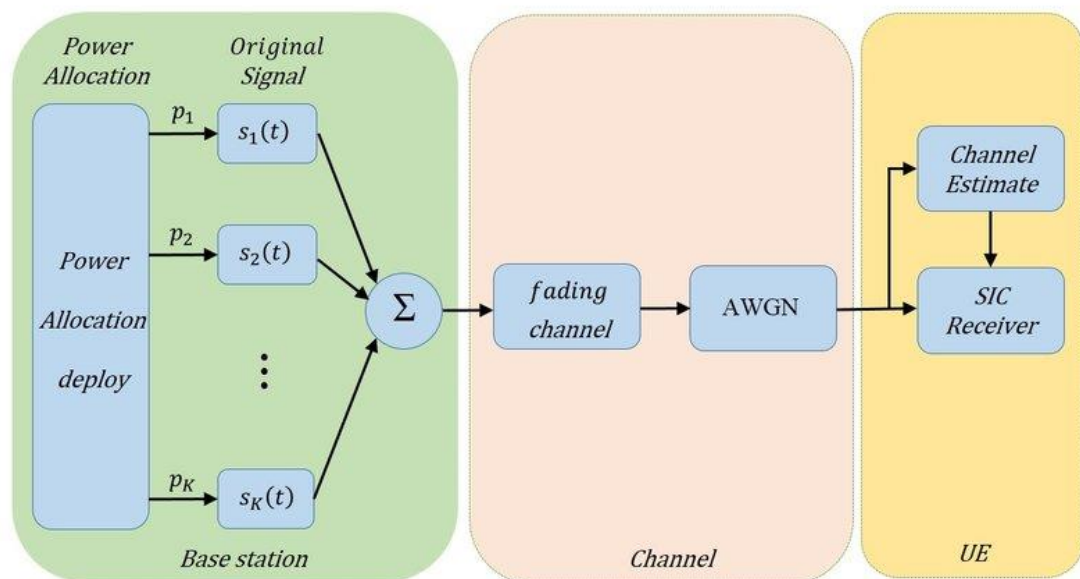


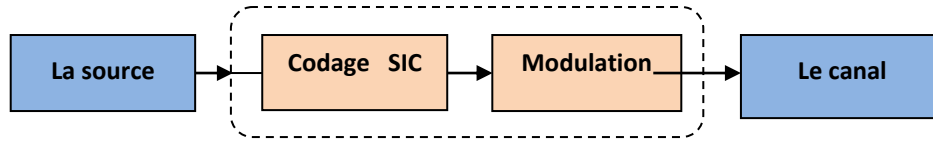
Figure II.4 : structure de transmission NOMA [48].

Dans la prochaine sous-section on va mieux expliquer chaque partie.

### II.4.1 La conception de l'émetteur

La conception de l'émetteur dans notre système proposé (NOMA) est comme suit :

Comme elle montre la figure (II.5) l'information sera envoyée par la source après elle va se décodé par un codage SIC et modulé par un type de modulation et finalement elle va se transmettre dans le canal.



**Figure II.5:** chaîne de transmission (coté émetteur).

#### II.4.1.1 Codage SC

SC (superposition de code) permet à l'émetteur (station de base: BS) de transmettre des signaux de plusieurs utilisateurs en même temps. Le signal de chaque utilisateur est codé et modulé indépendamment. Ensuite, la BS attribue un niveau de puissance à chaque utilisateur en fonction de son état de canal. Les utilisateurs proches de la station de base se voient attribuer des niveaux de puissance faibles car leurs conditions de canal sont meilleures que les utilisateurs distants. Cependant, tous les signaux provenant de différents utilisateurs seront additionnés et formeront un signal représenté par la formule suivante :

$$X = \sum \sqrt{P_i} \alpha_i \quad (\text{II.1})$$

La figure II.6 montre un système PD-NOMA simple, qui se compose d'une BS et de deux utilisateurs. Supposons que  $x_1$  et  $x_2$  sont des signaux à transmettre de la BS aux numéros d'utilisateur 1 et 2, respectivement. La station de base transmet le signal suivant [43]:

$$X = \sqrt{P_1} \alpha_1 X_1 + \sqrt{P_2} \alpha_2 X_2 \quad (\text{II.2})$$

Où  $\alpha_i$  représente une fraction de la puissance attribuée à l'utilisateur, sous réserve de la contrainte de  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$  et  $\alpha_1 > \alpha_2$ .

Avec :

$P_1, P_2$ : La fraction de la puissance allouée aux utilisateurs 1 et 2.

$P_1 + P_2 = P$ : La puissance d'émission totale.



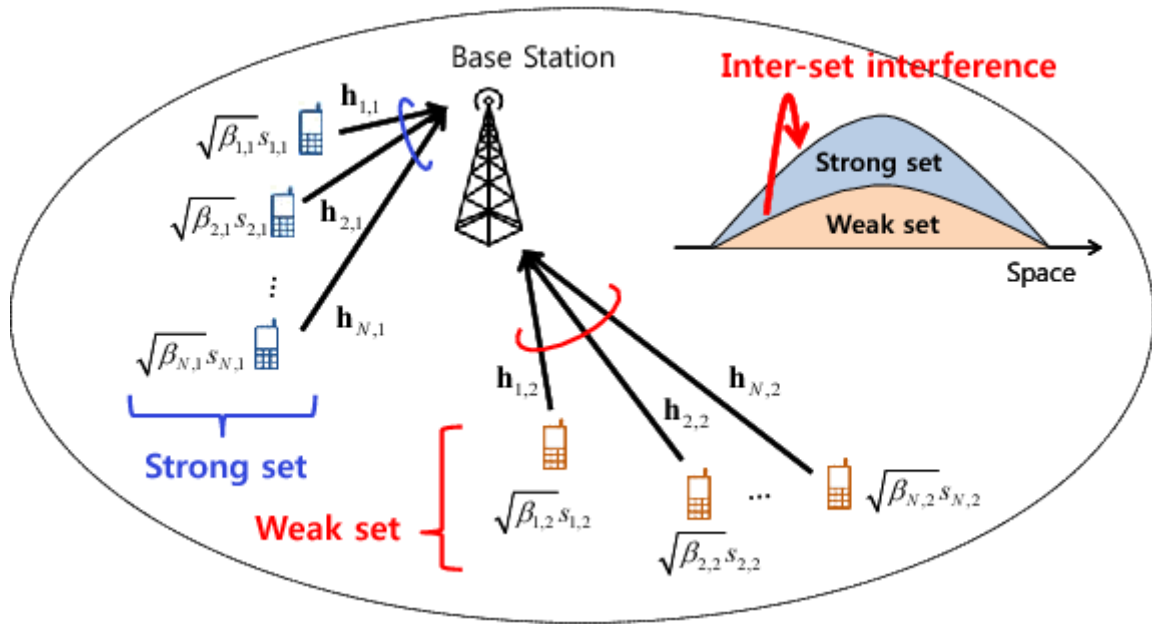


Figure II.6 : Allocation de puissance- codage SC [49].

### II.4.1.2 La modulation

Étant donné que les symboles ne peuvent pas être transmis sous forme numérique. La modulation est une opération associée à chaque symbole un signal électrique analogique. Le signal modulé s'écrit sous la forme suivante [50] :

$$m(t) = \Re \sum_k x_k(t) e^{j2\pi f_0 t} \tag{II.3}$$

Avec :

$x_k(t)$ : Est l'enveloppe complexe correspond au  $k^{\text{ème}}$  symbole qui s'écrit sous la forme :

$$x_k(t) = \sum x_k \text{rect}(t - kT) \tag{II.4}$$

La figure II.3 montre un schéma explicatif sur l'opération de la modulation.

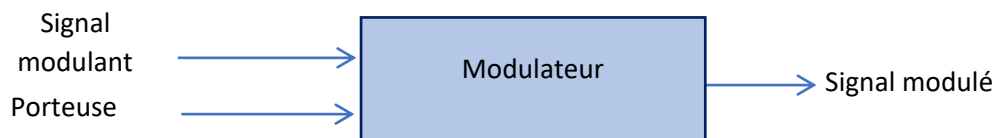


Figure II.7: modèle explicatif de la modulation.

### A- Types de modulation

L'équation qui permet de calculer une forme d'onde sinusoïdale est :

$$U = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (\text{II.5})$$

Avec :

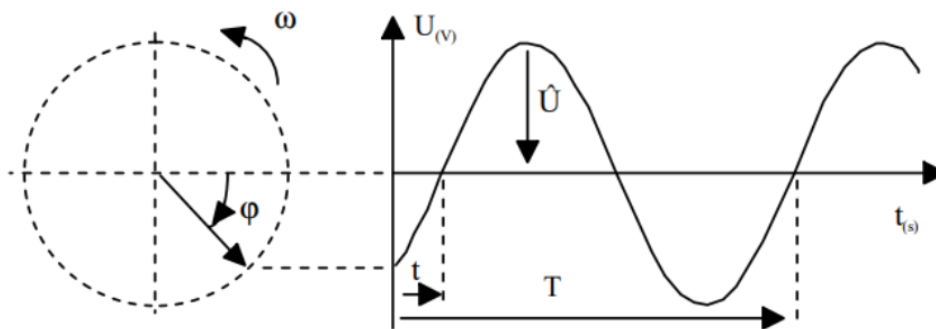
$U$  : la valeur instantanée du signal.

$\hat{U}$  : l'amplitude du signal .

$\omega$  : pulsation ( $\omega = 2\pi$ ).

$t$  : le temps considéré.

$\varphi$ : angle de déphasage à l'origine.



**Figure II.8:** représentation temporelle et vectorielle [51].

- ✓ Si le signal modulant fait varier  $\hat{U}$  c'est une **modulation par déplacement d'amplitude (Amplitude Shift Keying (ASK))**.
- ✓ Si le signal modulant fait varier  $f$  (dans la pulsation  $\omega$ ) c'est une **modulation par déplacement de fréquence (Frequency Shift Keying (FSK))**.
- ✓ Si le signal modulant fait varier  $\varphi$  c'est une **modulation par déplacement de phase (Phase Shift Keying (PSK))** [51].
- ✓ **QAM** est une forme de modulation d'une porteuse obtenue par modification d'amplitude la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature.

On s'intéresse beaucoup plus par la modulation par déplacement de phase (PSK) et la modulation QAM utilisée lors de notre étude.

### ✚ Modulation par déplacement de phase (PSK) :

Cette modulation est la plus employée pour la transmission des signaux numériques. Car elle réalise un bon compromis puissance/efficacité spectrale, c'est à dire le meilleur « nombre de bits par seconde et par hertz de bande passante » [52]. Dans ce cas on varie juste la phase de la porteuse en associant une phase  $\varphi_i$  à chaque symbole selon une table de correspondance [50].

Afin de minimiser la probabilité d'erreur, les différents états de la phase sont Répartis uniformément dans l'intervalle disponible  $[0, 2\pi]$ . Pour des raisons techniques de démodulation avec une probabilité d'erreur acceptable, on ne dépasse pas 8 valeurs de phase [52].

En communication numérique, les premières modulations consistaient à coder les éléments binaires par deux états distincts du signal. C'est particulièrement le cas pour la modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) où ces deux états distincts sont représentés par deux phases en opposition [53]. Dans ce cas la modulation s'écrit sous la forme :

$$s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi_i) \quad (\text{II.6})$$

Avec :  $\varphi_i = \pm\pi$

### ✚ Modulation (QAM) :

La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou modulation d'amplitude en quadrature de phase est une technique qui change l'amplitude et la phase à la fois. Elle est largement utilisée dans le domaine de télécommunication par satellite ou par fibre optique pour offrir des débits de plus en plus élevés.

La MDA et la MDP ne constituent pas une solution satisfaisante pour utiliser efficacement l'énergie émise. En effet, dans la MDA les points de la constellation sont sur une droite, et dans la MDP les points sont sur un cercle. Or, la probabilité d'erreur est fonction de la distance minimale entre les points de la constellation, et la meilleure modulation est celle qui maximise cette distance pour une puissance moyenne donnée. Un choix plus rationnel est alors une modulation qui répartit les points uniformément dans le plan [52]. Pour faire cela, nous avons vu que le signal modulé  $s(t)$  peut s'écrire :

$$s(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Avec } a(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \quad \text{et} \quad b(t) = \sum_k b_k \cdot g(t - kT)$$

Le signal modulé  $m(t)$  est donc la somme de deux porteuses en quadrature, modulées en amplitude par les deux signaux  $a(t)$  et  $b(t)$ .

## II.4.2 Modèle de canal

Pour la conception d'un système de communications, il est indispensable de construire des modèles mathématiques qui caractérisent le milieu de propagation. Deux phénomènes fondamentaux liés à la transmission sur le canal radio :

- Les multi-trajets de propagation
- Le bruit

Les modèles les plus employés dans les communications sans fil sont analysés et présentés de la manière suivante [54] :

### II.4.2.1 Canal de propagation par multi trajets :

Le multi trajet est un phénomène qui se produit lorsqu' un signal radio se propage par plusieurs trajets et reçu sur une antenne. La cause de l'atténuation par trajets multiples est la réflexion de l'ionosphère, la réfraction, la réflexion et la diffraction des obstacles naturels ou des bâtiments.

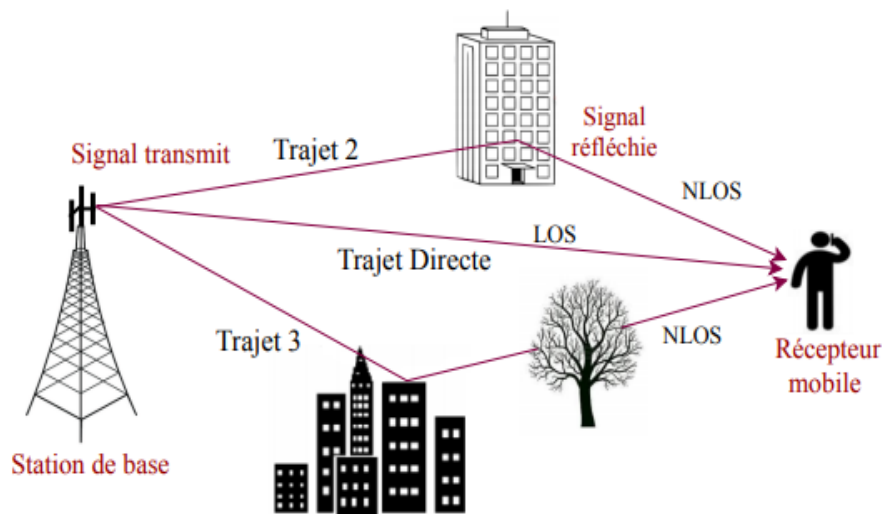


Figure II .9 : modèle de propagation multi trajet [29].

### A- Principales dégradations de la propagation

Dans les systèmes de communication sans fil, les signaux sont transmis sous forme d'ondes Il y a des interférences électromagnétiques entre l'émetteur et le récepteur. Ces transmissions dépendent fortement de Changements dans les canaux de communication. Plusieurs phénomènes dus à ce dernier (Pathloss, le shadowing et le fast fading), la qualité du signal radio sera gravement dégradée. Cela réduit la capacité de transmission et complique l'allocation des ressources [29].

➤ **Pathloss :**

Les pertes de propagation caractérisent l'atténuation du signal à cause du trajet séparant l'émetteur du récepteur et de l'environnement de propagation [55]. En effet, le signal émis est souvent soumis à plusieurs phénomènes liés à l'environnement de propagation (Réflexion, Diffraction, Diffusion). Pour un environnement donné, les pertes de propagation dépendent de la distance de référence  $d_0 = 1\text{Km}$ , la distance entre un utilisateur et une station de base notée  $d$ , la fréquence et la hauteur de la station de base ainsi que la hauteur de la station mobile [56]. Ces pertes sont généralement exprimées en décibels.

➤ **Shadowing :**

L'ombrage est causé par des obstacles évidents entre l'émetteur et le récepteur (bâtiments ou forêt). Les ondes électromagnétiques traversant ces obstacles sont affectées par l'atténuation de puissance dépend de la nature du matériau traversé [57]. L'ombrage est généralement décrit comme une variable aléatoire de type log-normal [58].

➤ **Fast fading :**

L'évanouissement du signal est un phénomène qui perturbe gravement la transmission et la restriction La performance du système de communication. Ceci est aléatoire, généralement le résultat Plusieurs chemins. Ces différents chemins vont générer plusieurs versions du signal lors de la réception Émissions, chacune à une atténuation spécifique [57].

Il existe différents modèles de variables aléatoires pour modéliser l'évanouissement ; les plus courants sont le canal de Rayleigh, de Rice ou de Nakagami.

## **B- Distribution de canal de Rayleigh**

La distribution de Rayleigh est utilisée dans les environnements de propagation par trajets multiples, ou il n'y a pas de ligne directe entre l'émetteur et le récepteur comme il est montré dans la Figure ci-dessous. Dans cette distribution, le signal reçu est composé d'un grand nombre de chemins indirects (également appelés « None Light of Sight » NLOS) a une amplitude et une phase aléatoires, indépendantes et cohérentes Décentralisé. L'enveloppe de ce signal suit la loi de Rayleigh définie par l'équation Suivant [59]:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r \geq 0 \quad (\text{II.8})$$

Où :

$r$  : représente l'enveloppe de signal complexe reçu :  $r = x + i y$

$\sigma$  : représente l'écart type de la partie réel (x) ou la partie imaginaire (y)

D'autres propriétés utiles de cette distribution sont données par :

La valeur moyenne :

$$E\{r\} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (\text{II.9})$$

La valeur quadratique moyenne :

$$E\{r^2\} = 2\sigma^2 \quad (\text{II.10})$$

La variance :

$$E\{r^2\} - E\{r\}^2 = \sigma^2 \left( \frac{4 - \pi}{2} \right) \quad (\text{II.11})$$

### C- Distribution de canal de Rice

Dans d'autres cas, l'environnement de communication est caractérisé par plusieurs chemins indirects et un trajet direct entre l'émetteur et le récepteur (également appelée « Ligne Of Sight » LOS). Par conséquent, la densité de probabilité d'enveloppe du signal complexe reçu obéit à la distribution de Rice défini par l'équation suivante [59] :

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + r_d^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rr_d}{\sigma^2}\right), r \text{ et } r_d \geq 0 \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$r_d$  : est l'amplitude de trajet direct

$I_0$  : la fonction de Bessel de première espèce d'ordre 0

Cette distribution possède les caractéristiques suivantes :

La valeur moyenne :

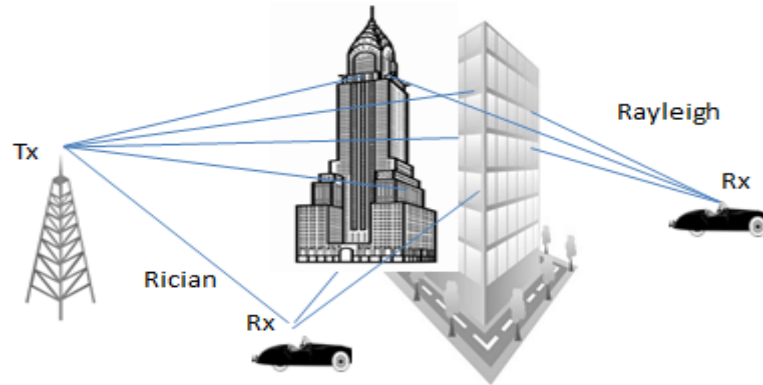
$$E\{r\} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) \left[ \left(1 + \frac{r^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) + \frac{r^2}{4\sigma^2} I_1\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) \right] \quad (\text{II.13})$$

La valeur quadratique moyenne :

$$E\{r^2\} = 2\sigma^2 + r^2 \quad (\text{II.14})$$

La variance :

$$E\{x^2\} - E\{x\}^2 \quad (\text{II.15})$$



**Figure II.10:** Système de communication sans fil avec LOS et NLOS, de canaux Rician et Rayleigh, respectivement [60].

#### D- Distribution de canal Nakagami-m :

Dans la plupart des cas, les distributions de Rayleigh et Rice sont suffisantes pour modéliser la répartition des évanouissements du signal reçu dans le canal radio mobile. Mais par exemple dans le cas où le canal se caractérise par deux trajets comparables et plus puissants que les autres, les distributions de Rice et de Rayleigh ne peuvent plus se rapprocher de l'expression statistique du signal reçu.

Une distribution alternative désignée par le terme « distribution de Nakagami-m » pour modéliser ce cas dont sa densité de propagation est donnée par [59]:

$$p(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^2 x^{2m-1} e^{-\left(\frac{m}{\Omega}x^2\right)} \quad (\text{II.16})$$

$$x \geq 0 \text{ et } m \geq 0,5$$

Avec :

$\Gamma(\cdot)$  : Est la fonction gamma.

$\Omega = E\{x^2\}$  est la valeur quadratique moyenne.

$m = \frac{E\{x^2\}}{\text{var}\{x^2\}}$ : est le paramètre d'évanouissement.

La valeur moyenne :

$$\frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \left(\frac{\omega}{m}\right)^{1/2} \quad (\text{II.17})$$

La variance :

$$\omega \left(1 - \frac{1}{m} \left(\frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)}\right)^2\right) \quad (\text{II.18})$$

La distribution de Nakagami-m couvre plusieurs types d'évanouissements. Si  $m = 1$ , cette distribution devient de type Rayleigh à condition que  $\Omega = 2\sigma^2$

#### II.4.2.2 Le bruit

Le bruit est un terme couramment utilisé pour désigner toute interférence nuisible qui masque le signal reçu, altère la qualité de la communication, rend perceptible l'information ou causer sa perte totale ou partielle. Afin d'être proche de la réalité, le bruit doit être pris en compte dans les travaux. Cette section présentera brièvement le bruit [61].

Ces bruits peuvent être classés selon leurs origines en plusieurs formes :

- **Bruits techniques** : sont causés par le canal de transmission. Ce type est lié à l'environnement extérieur et aux conditions physiques et matérielles.
- **Bruit aérien** : où le bruit est propagé dans l'air (Ex : bruit de voix, bruit de télévision, bruit de circulations,...).
- **Bruit d'impact** : transmis d'un choc sur une paroi (Ex : bruits de pas, bruits de déplacement de meubles, ...).
- **Bruit solide** : il s'agit du bruit transmis par les éléments solide (Ex : bruit d'ascenseur...).

Dans notre étude, nous nous intéressons au bruit AWGN (bruit gaussien blanc additif) et au bruit thermique.



### A- Le bruit thermique (thermal noise)

Le bruit thermique est défini comme des fluctuations spontanées dues à l'interaction thermique entre les électrons libres et les ions vibrants dans un milieu conducteur. Il introduit la variance  $\sigma_{th}$  de la tension de sortie de la photo détecteur, qui peut être exprimée mathématiquement par [61] :

$$\Sigma_{th}^2 = \frac{4 k_b T_n B}{R_l} \quad (II.19)$$

Où :

- $k_b$ : la constante de Boltzmann ( $1.381 \cdot 10^{-23}$  [J.K-1]).
- $T_n$ : est la température en [°K].
- $B$  : est la bande passante du récepteur en [Hz].
- $R_l$ : c'est la résistance de charge du système de photo détection en [ $\Omega$ ]

### B- Le bruit blanc Gaussien moyen

Bruit blanc additif gaussien (AWGN) est le modèle le plus simple et le plus couramment utilisé. Il consiste à ajouter du bruit au canal de transmission. Selon Boltzmann, il représente le bruit L'électromagnétisme produit par les atomes, composition atmosphérique ou moléculaire du guide Vagues de l'océan. Ce genre de bruit est particulier dans le sens où il est "fait" A toutes les fréquences, donc on l'appelle "bruit" Blanc'

Ce bruit  $n(t)$  est modélisé par une fonction de densité de probabilité gaussienne définie par l'équation suivante [62] :

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (II.20)$$

Avec :

$x$  : variable aléatoire.

$\mu$  : la moyenne.

$\sigma$  : la variance.

### II.4.3 La conception du récepteur

La partie réceptrice a un rôle de récupérer le message transmis à partir d'un émetteur par le canal. La chaîne de réception comprend des blocs garantissant la fonction inverse à celles effectuées en émission.

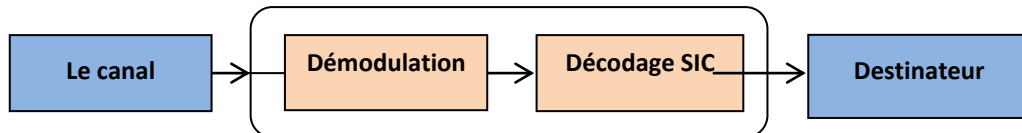


Figure II.11 : chaîne de transmission (côté réception).

#### II.4.3.1 Démodulation :

La démodulation consiste à estimer les données binaires envoyées préalablement à partir des symboles complexes reçus et affectés par le canal et le bruit. L'estimation se fait à l'aide du critère de la distance Euclidienne minimale. Cette méthode estime les symboles émis en calculant les distances Euclidiennes entre chaque symbole reçu et tous les points de la constellation. Le point de la constellation, qui forme la plus petite distance Euclidienne avec le symbole reçu, est retenu comme étant l'estimation du symbole émis [52].

$$\begin{aligned} \hat{s} &= \arg \min (dE) \\ &= \arg \min |y - \hat{h}s| \end{aligned} \quad (\text{II.21})$$

Avec

$\hat{s}$  : le symbole estimé,

$y$  : le symbole reçu,

$h$  : les coefficients du canal de propagation et,

$s$  : le symbole émis.

#### II.4.3.2 Décodage SIC :

Les chercheurs ont largement utilisé une gestion efficace des interférences pour augmenter la capacité du réseau. Par conséquent, SIC (Successive Interférence Cancellation) est considéré comme une technologie de réseau sans fil prometteuse.

L'utilisateur avec la puissance la plus élevée est détecté en premier. Il est le moins infecté. Ensuite, il recode et ré-module son signal, puis soustrait ce signal du signal composite. Le même processus est appliqué au deuxième signal avec une puissance plus élevée. Il est devenu le signal le plus puissant maintenant. Lorsque tous les signaux sauf un sont détectés, le signal le plus faible décode ses informations sans être affecté. Contrairement aux autres techniques de détection multi-utilisateurs en CDMA, qui ont plusieurs observations au niveau du récepteur, le domaine de puissance NOMA a une seule observation au niveau du récepteur. En d'autres termes, au lieu d'utiliser la détection en observant tous les utilisateurs simultanément, SIC fonctionne de manière itérative, ce qui impose moins de complexité de détection au récepteur [63].

La transmission conjointe dans NOMA peut causer beaucoup d'interférences avec le signal reçu. Afin de réduire l'influence des interférences, des méthodes de circuits intégrés peuvent être utilisées. Le signal reçu par UEI aura la forme suivante :

$$y_i = h_i x + w_i \quad (\text{II.22})$$

Où  $x$  est le signal superposé transmis,  $h_i$  représente le coefficient de canal complexe entre UEI et la station de base (BS), et la ligne représente le bruit gaussien et les interférences reçus par UEI. Le meilleur ordre pour décoder le signal reçu dans NOMA est d'augmenter le gain de canal, qui est normalisé par le bruit et la puissance d'interférence entre les cellules  $|h_i|^2 / \sigma_i$ . En supposant qu'UE1 a de meilleures conditions de canal qu'UE2 :

$$\frac{|h_1|^2}{\sigma^2} > \frac{|h_2|^2}{\sigma^2} \quad (\text{II.23})$$

Ensuite, le signal de l'UE2 sera le premier dans l'ordre de décodage. Par conséquent, UE2 peut utiliser un récepteur linéaire pour décoder son message à partir du signal superposé et traiter le signal de l'UE1 dans  $y_2$  comme une interférence supplémentaire. Pour UE1, le processus de décodage comprend les étapes suivantes: d'abord décoder et reconstruire le signal UE2, puis soustraire de  $y_1$  [64].

Pour réaliser le détecteur SIC, les signaux doivent d'abord être analysés par ordre décroissant. D'une part, le signal de données d'utilisateur de puissance supérieure est soustrait du signal reçu, et le signal d'utilisateur de puissance inférieure est considéré comme du bruit [54].

Selon ce principe, son rapport signal sur bruit (SNR) s'exprime comme suit :

$$\gamma_i = \frac{|h_i|^2 P \alpha_1}{|h_i|^2 P \alpha_2 + \sigma^2} \quad (\text{II.24})$$

Avec :

$\sigma$  :représente la variance

$P$  : représente la puissance allouée à l'i-ième utilisateur. Quant au

Le SNR de l'utilisateur le plus proche, il se présente de la façon suivante :

$$\gamma_1 = \frac{|h_1|^2 P \alpha_1}{|h_1|^2 P \alpha_2 + \sigma^2} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

$P$ : représente la puissance allouée total à l'utilisateur le plus proche.

Par conséquent, le débit de chaque utilisateur dans le système PD-NOMA est exprimé comme :

$$R_i = \log_2(1 + \gamma_i) \quad (\text{II.26})$$

En résumé, la situation de deux utilisateurs est illustrée de signal composite PD-NOMA construit pour le réseau est donné par la formule suivante:

$$X = \sqrt{P_1 \alpha_1} X_1 + \sqrt{P_2 \alpha_2} X_2 \quad (\text{II.27})$$

Le signal reçu par chaque utilisateur peut être décrit comme suit :

$$y_i = h_i X + w_i \quad (\text{II.28})$$

Les utilisateurs qui reçoivent des revenus des canaux  $h_1$  et  $h_2$ , parmi lesquels  $h_1$  est le plus élevé et  $h_2$  est le plus bas. La station de base attribuera la puissance la plus élevée à l'utilisateur le plus éloigné  $U_2$ . La puissance la plus faible sera allouée à l'utilisateur  $U_1$  car il est le plus proche de la station. Cela garantit que les utilisateurs distants avec des gains de canal faibles recevront des niveaux d'interférence inférieurs de la part des utilisateurs avec des gains de canaux élevés.

L'utilisateur  $U_1$  utilise le détecteur SIC pour d'abord décoder le signal de l'utilisateur  $U_2$ , puis le soustraire du signal reçu.

L'utilisateur  $U_2$  considère le signal de l'utilisateur  $U_1$  comme du bruit et décode facilement son propre signal [54] c'est à dire que :

➤ **L'utilisateur 1**

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1 X + w_1 \\ y_1 &= h_1 (\sqrt{P_1 \alpha_1} X_1 + \sqrt{P_2 \alpha_2} X_2) + w_1 \\ y_1 &= h_1 \sqrt{P_1 \alpha_1} X_1 + h_1 \sqrt{P_2 \alpha_1} X_2 + w_1 \end{aligned} \quad (\text{II.29})$$

Car :

$h_1\sqrt{P_1\alpha_1} X_1$ : Le signal désiré dominant.

$h_1\sqrt{P_2\alpha_1} X_2$  : L'interférence Low power.

$w_1$  le bruit.

Puisque on a  $\alpha_1 > \alpha_2$  donc le signal contient  $\alpha_2$  est directement traité comme interférence,

Son SNR est :

$$\gamma_1 = \frac{|h_1|^2 P \alpha_1}{|h_1|^2 P \alpha_2 + \sigma^2} \quad (\text{II.30})$$

Et son data rate est de la forme :

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (\text{II.31})$$

### ➤ L'utilisateur 2

$$y_2 = h_2 X + w_2$$

$$y_2 = h_2(\sqrt{P_1\alpha_1} X_1 + \sqrt{P_2\alpha_2} X_2) + w_2$$

$$y_2 = h_2\sqrt{P_1\alpha_1} X_1 + h_2\sqrt{P_2\alpha_1} X_2 + w_2 \quad (\text{II.32})$$

Car

$h_2\sqrt{P_1\alpha_1} X_1$  : Le signal désiré dominant.

$h_2\sqrt{P_2\alpha_1} X_2$  : L'interférence Low power.

$w_2$  est le noise .

Puisque on a  $\alpha_1 > \alpha_2$ , donc le signal contient  $\alpha_2$  est directement traité comme interférence,

Le SNR de l'utilisateur 2 après avoir décodé  $X_1$  est :

$$\gamma_{1,2} = \frac{|h_2|^2 P \alpha_1}{|h_2|^2 P \alpha_2 + \sigma^2} \quad (\text{II.33})$$

Et son data rate est de la forme :

$$R_{1,2} = \log_2(1 + \gamma_{1,2}) \quad (\text{II.34})$$

Le SNR de l'utilisateur 2 après avoir décodé  $X_2$  est : Et son data rate est de la forme :

$$\gamma_2 = \frac{|h_2|^2 P \alpha_2}{\sigma^2} \quad (\text{II.35})$$

Et son data rate est de la forme :

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (\text{II.36})$$

Par une finalité nous présentons la figure qui résume le contenu de cette partie :

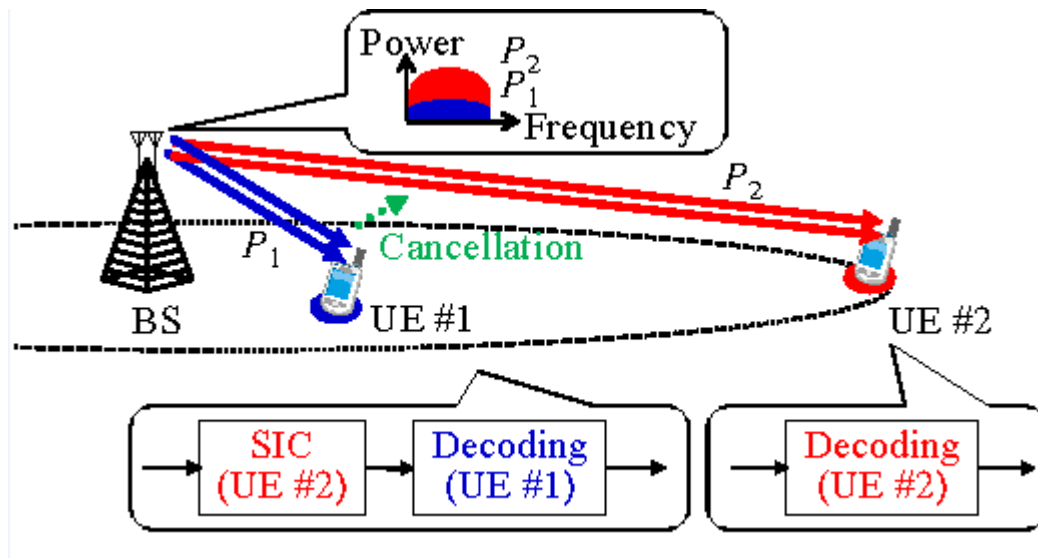


Figure II.12 : le concept de NOMA dans le décodage SIC [65].

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu une solution pour améliorer l'efficacité spectrale des transmissions et l'équité entre les utilisateurs surtout avec l'émergence rapide des applications Internet et l'augmentation de trafic mobile mondial de 8 fois entre 2018 et 2022. Cette solution est représentée par la technique NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) qui permet à plusieurs usagers d'utiliser le même bloc de ressource, basé sur le domaine de puissance, après on a expliqué son principe de fonctionnement et par quoi elle se diffère de l'OMA. Ensuite, on a détaillé la chaîne de transmission de NOMA qui utilise le codage de superposition (SC) à l'émission et le codage de suppression successive d'interférences (SIC) à la réception. Le prochain chapitre portera sur la simulation de la technique NOMA par des différents codes à l'aide du logiciel Matlab.



*Chapitre 3 :*  
*Simulations et résultats.*

### III.1 Introduction

L'accès multiple non orthogonal (NOMA) peut être considéré comme une solution pour les futurs réseaux 5G, permettant à plusieurs utilisateurs d'accéder au réseau et de fournir des communications à large bande. À cette finalité, notre travail repose sur la combinaison de nouvelles technologies telles que NOMA sur le futur réseau sans fil 5G, et comme les détails mathématiques de NOMA ont été précisés auparavant, nous pouvons continuer à écrire dans le dernier chapitre et mener des recherches sur les performances de NOMA À propos de la 5G.

Dans ce chapitre, on va présenter, synthétiser et discuter ces études par un code MATLAB pour le simuler en évoquant plusieurs codes, en premier lieu nous commençons par la capacité NOMA pour deux utilisateurs, après nous la compare avec la capacité de technique OMA. Ensuite ; on va effectuer une étude concernant la performance NOMA-BER pour deux utilisateurs. Et à la fin, on va réaliser et vérifier l'influence des différentes modulations (BPSK, QPSK, 16QAM ,64QAM) sur le taux d'erreur binaire (BER).

### III.2 Normes de performance NOMA pour les systèmes de communication 5G

Dans cette section, nous allons étudier les performances de transmission pour un système NOMA en termes de capacité et de BER.

#### III.2.1 Capacité

La capacité est la quantité d'information que peut transmettre le canal et elle est définie par la forme suivante :

$$c = w \log_2(1 + SNR) \quad (III.1)$$

Où  $w$  : est le bruit.

##### III.2.1.1 Le rapport signal sur bruit (SNR)

SNR est le rapport signal sur bruit (Signal to Noise) qui est le rapport entre la puissance de signal utile  $P_s$  et la puissance de bruit  $N$ . Il peut évaluer la contribution du bruit et son effet sur la dégradation du signal.

$$SNR = \frac{P_s}{n_0} \quad (III.2)$$

Ce rapport est généralement exprimé en dB :



$$SNR = 10 \log \left( \frac{P_s}{n_0} \right) \quad (\text{III.3})$$

Le SNR est une donnée très intéressante car il permet d'estimer la dégradation soudaine causée par le bruit. En effet, plus le rapport signal sur bruit est faible, plus le degré de dégradation du signal par le bruit est important, et plus il est difficile d'éliminer l'influence du bruit sur le signal. Un rapport signal sur bruit élevé doit être garanti pour s'assurer que le signal reçu est toujours une "copie fidèle" du signal transmis [55].

### III.2.1.2 La formule de calcul de la capacité NOMA et OMA

- **Pour la technique OMA :**

$$C_1^{OMA} = (1 - \beta) \log_2 \left( 1 + \frac{\alpha_1 P |h_1|^2}{\beta} \right) \quad (\text{III.4})$$

Et

$$C_2^{OMA} = (1 - \beta) \log_2 \left( 1 + \frac{\alpha_2 P |h_2|^2}{1 - \beta} \right) \quad (\text{III.5})$$

Où  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont des coefficients d'allocations de la puissance, qui vérifie  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ .  $\beta$  est le coefficient d'allocation de ressource, et qui a comme unité HZ pour une ressource fréquentielle, et s pour une ressource temporelle. Pour le cas où le contrôle de puissance n'est pas considéré à la station de base, on pose :  $\frac{\alpha_1}{\beta} = \frac{\alpha_2}{1-\beta} = 1$ , voir les équations (III.4) et (III.5).

- **Pour la technique NOMA :**

$$C_1^{NOMA} = \log_2 \left( 1 + \frac{\alpha_i P |h_i|^2}{1 - \alpha_i P |h_i|^2} \right) \quad (\text{III.6})$$

Et

$$C_2^{NOMA} = \log_2 (1 + \alpha_i P |h_i|^2) \quad (\text{III.7})$$

Pour un SNR élevé, en admettant que les ressource temps/ fréquence sont alloué équitablement pour chaque utilisateur en utilisant ces équations, les somme des capacités pour l'OMA et l'NOMA peuvent être écrit comme suit :

$$C_{sum,\infty}^{OMA} \approx \log_2 (1 + P \sqrt{|h_2|^2 * |h_1|^2}) \quad (\text{III.8})$$

Et

$$C_{sum,\infty}^{NOMA} \approx \log_2 (P |h_2|^2) \quad (\text{III.9})$$

Nous pouvons donc calculer le gain de capacité totale de NOMA par rapport à l'OMA par :

$$C_{sum,\infty}^{gain} \approx C_{sum,\infty}^{NOMA} - C_{sum,\infty}^{OMA} \approx \frac{1}{2} \log_2(|h_2|^2/|h_1|^2) \quad (III.10)$$

✚ D'après la démonstration :

$$C_{sum,\infty}^{NOMA} - C_{sum,\infty}^{OMA} = C_{sum,\infty}^{NOMA} \approx \log_2(P|h_2|^2) - \log_2(P\sqrt{|h_1|^2 * |h_2|^2}) \quad (III.11)$$

Or

$$\log_2(a) - \log_2(b) = \log_2(a/b) \quad (III.12)$$

$$\begin{aligned} \log_2(P|h_1|^2) - \log_2(P\sqrt{|h_1|^2 * |h_2|^2}) &= \log_2\left(\frac{p|h_2|^2}{P\sqrt{|h_1|^2 * |h_2|^2}}\right) \\ &= \log_2\left(\frac{|h_2|^2}{\sqrt{|h_1|^2|h_2|^2}}\right) \\ &= \log_2\left(\frac{|h_2|^2}{\sqrt{|h_1|^2 * |h_2|^2}}\right) = \log_2\left(\frac{|h_2|^2}{\sqrt{|h_1|^2}\sqrt{|h_2|^2}}\right) = \log_2\left(\frac{|h_2|^2}{|h_1||h_2|}\right) \\ &= \log_2\left(\frac{|h_2|}{|h_1|}\right) = \log_2\left(\left(\frac{|h_2|^2}{|h_1|^2}\right)^{1/2}\right) = \log_2\left(\left(\frac{|h_2|^2}{|h_1|^2}\right)^{1/2}\right) \end{aligned} \quad (III.13)$$

On utilise la propriété de logarithme  $\log_2(a^n) = n\log_2(a)$ , on a :

$$\log_2\left(\left(\frac{|h_2|^2}{|h_1|^2}\right)^{1/2}\right) = \frac{1}{2} \log_2\left(\frac{|h_2|^2}{|h_1|^2}\right) \quad (III.14)$$

D'où l'équation (III.9).

Quand on a  $|h_1|^2 \leq |h_2|^2$ , la somme des capacités de NOMA est plus grande que celle de l'OMA, ce gain est imposé quand les conditions des canaux de deux utilisateurs sont très différentes. Nous allons confirmer par la suite cette démonstration par la simulation.

### III.2.2 Le taux d'erreur binaire (TEB ou BER)

BER (Bit Error Rate) ou TEB (taux d'erreur binaire) est utilisé pour compter les erreurs qui se produisent dans un système de transmission ; Le BER est un paramètre clé utilisé pour évaluer les systèmes qui transmettent des données numériques d'un endroit à un autre [66].

La définition de taux d'erreur binaire est traduite par la formule suivante :

$$\text{BER} = \text{TEB} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits totaux envoyés}} \quad (\text{III.15})$$

### III.3 Paramètres de simulation

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

<i>Paramètres</i>	<i>Notions</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Nombre d'échantillons</i>	N	10 <sup>5</sup> échantillons
<i>La distance de l'utilisateur 1</i>	d <sub>1</sub>	1000 m
<i>La distance de l'utilisateur 1</i>	d <sub>2</sub>	500 m
<i>Facteur d'allocation de puissance 1</i>	α <sub>1</sub>	0.75
<i>Facteur d'allocation de puissance 1</i>	α <sub>2</sub>	0.25
<i>Exposant du path loss</i>	Eta	4 (environnement rurale)
<i>Puissance de transmission de la Bs</i>	Pt	entre 0:40 dBm
<i>Bande passante du système</i>	Bp	1 MHz
<i>La modulation BPSK</i>	M	2
<i>La modulation QPSK</i>	M	4
<i>La modulation 16-QAM</i>	M	16
<i>La modulation 64-QAM</i>	M	64

**Tableau III.1** paramètres de simulation.

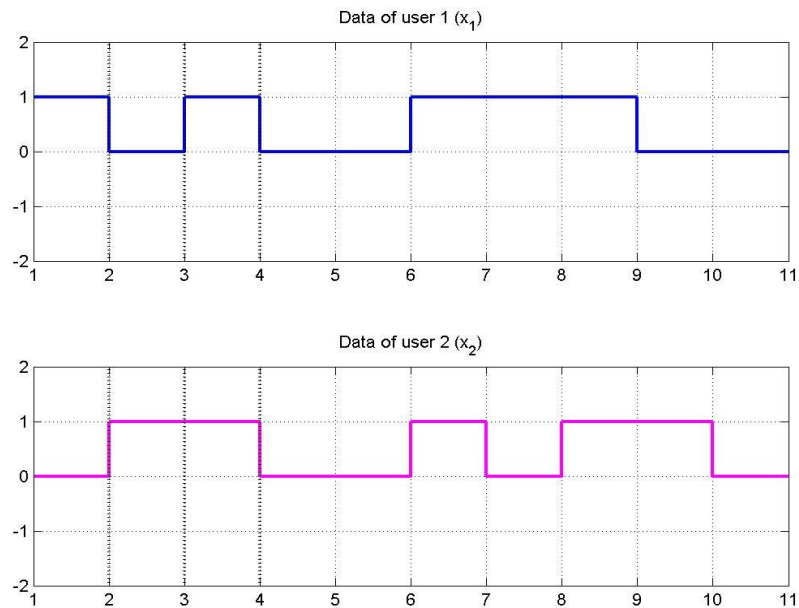
### III.4 Résultats, analyses et comparaison

Nous avons commencé notre étude par l'implémentation de codage SC sur Matlab. Supposons deux utilisateurs U1 et U2 vont communiquer simultanément en utilisant la même fréquence. Soit data1 et data2 les données de l'utilisateur U1 et U2 respectivement. Pour simplifier supposons que chaque utilisateur n'ait que 10 bits à envoyer. Cette hypothèse est loin de la réalité, mais est suffisante pour comprendre le fonctionnement de base de codage SC.

Les deux messages sont générés comme suit :

```
data1 = [1010011100];
data2 = [0110010110];
```

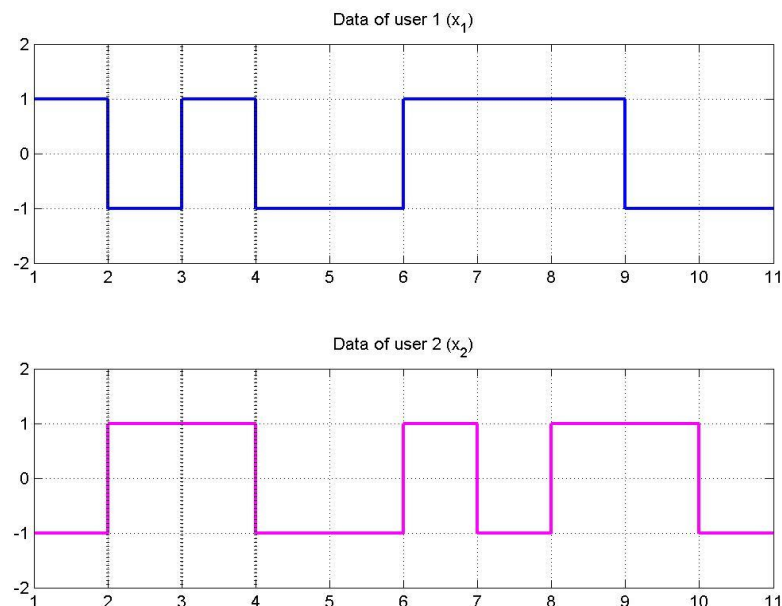
La représentation de ces messages est illustrée dans la figure (III.1) :



**Figure III.1 :** représentations des signaux générés.

#### ✚ Codage NRZ

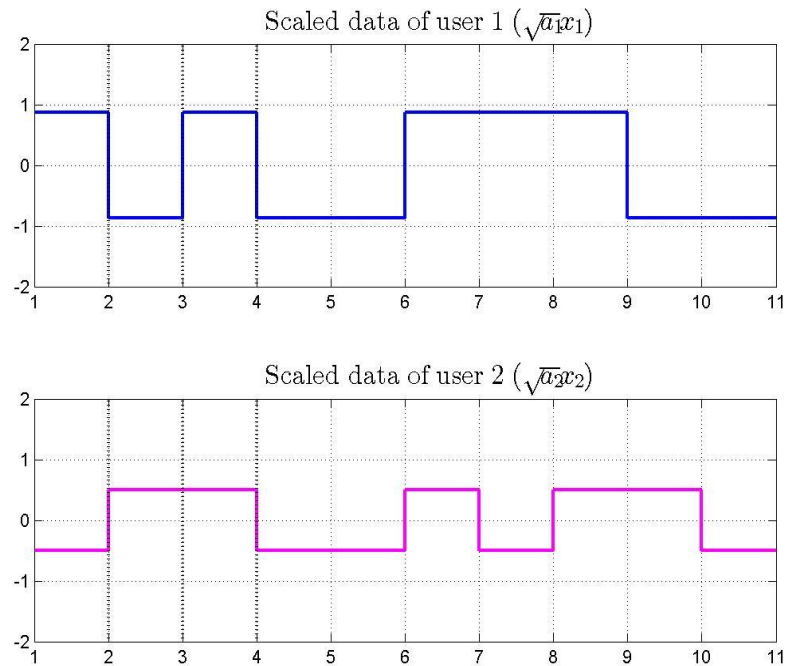
Après la génération des signaux, on fait le codage NRZ où la bite « 1 » est codé par « 1 » et le bite « 0 » est codé par « -1 ». Les résultats sont montrés dans la figure (III.2) :



**Figure III.2 :** représentations des signaux après le codage NRZ.

### ✚ Codage SC

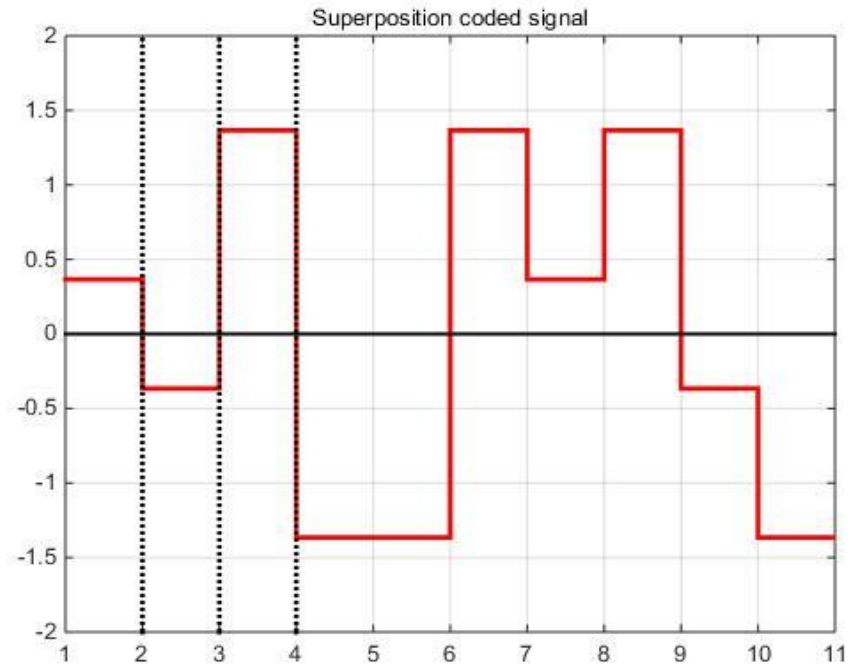
NOMA utilise un codage de superposition côté émetteur. Superposer signifie ajouter, donc en gros, nous allons ajouter data1 à data2. Mais avant cela, nous allons les multiplier avec différents niveaux de puissance comme le montre la figure III.3.  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont les facteurs d'allocation de puissance pour l'utilisateur éloigné et l'utilisateur proche respectivement, on prend :  $\alpha_1 = 0.6$  et  $\alpha_2 = 0.4$  .



**Figure III.3 :** allocations des puissances.

Le signal NOMA codé par superposition transmis par la BS est représenté sur la figure (figure III.4) :

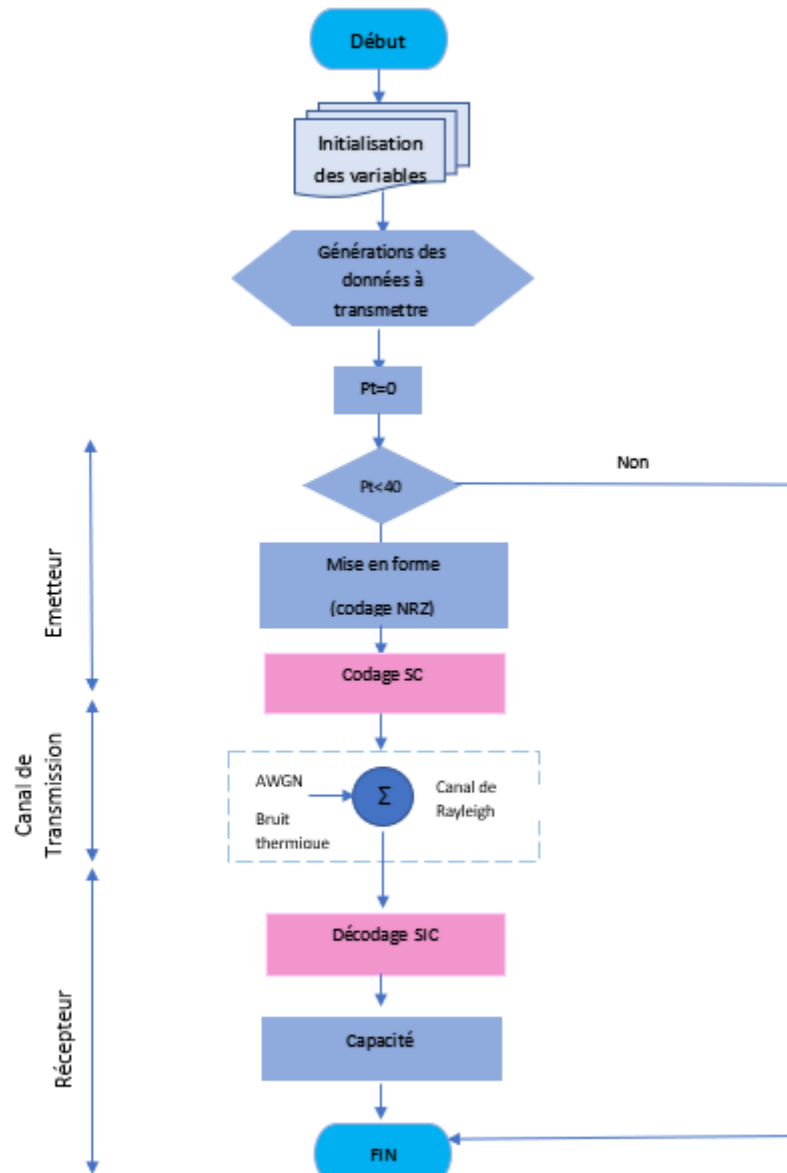
$$X = \sqrt{P}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) \quad (\text{III.16})$$



**Figure III.4 :** représentation de signal NOMA après le codage SC.

### III.4.1 Capacité NOMA

Dans cette partie nous avons évalué les performances de capacité de la technologie NOMA selon l'organigramme présenté ci-dessous.



**Figure III.5 :** organigramme de simulation de Capacité.

- ✓ Déclarons les valeurs de certains paramètres, l'utilisateur 1 est le plus éloigné de la station de base, l'utilisateur 2 est un utilisateur proche. Utilisons  $d_1$  et  $d_2$  pour désigner leur distance par rapport à BS, en supposant que les distances soit  $d_1 = 100 \text{ mètres}$  et  $d_2 = 500 \text{ mètres}$ .
- ✓ On fixe les facteurs d'allocation de puissance comme  $\alpha_1 = 0.75$ , et  $\alpha_2 = 0.25$ .
- ✓ Nous voulons un graphique de la capacité en fonction de la puissance d'émission. Donc, initialisons une plage de puissance de transmission de 0 dBm à 40 dBm.
- ✓ On fixe la bande passante de notre système à  $BP = 1\text{MHz}$
- ✓ Ensuite, nous devons générer les coefficients d'évanouissement de Rayleigh  $h_1$  et  $h_2$  pour simuler le canal entre les deux utilisateurs.

Pour tracer la capacité, nous devons calculer :

$$c_1 = \frac{w}{2} \log_2(1 + \gamma_1) = \frac{w}{2} \log_2\left(1 + \frac{|h_1|^2 P \alpha_1}{|h_2|^2 P \alpha_2 + \sigma^2}\right) \quad (\text{III.17})$$

$$c_2 = \frac{w}{2} \log_2(1 + \gamma_2) = \frac{w}{2} \log_2\left(1 + \frac{|h_2|^2 P \alpha_2}{\sigma^2}\right) \quad (\text{III.18})$$

Avec :

$P$  : Est la puissance d'émissions.

$h_1$  et  $h_2$  : Désignent le canal de la BS à l'utilisateur proche et distant respectivement.

$\alpha_1$  et  $\alpha_2$  : Sont les facteurs d'allocation de puissance respectivement pour l'utilisateur éloigné et proche.

$\gamma_1$  et  $\gamma_2$  : C'est le rapport signal sur bruit et interférence pour l'utilisateur éloigné et proche, respectivement.

$\delta^2$  : Est La variance.

$w$  : est le bruit

Et les résultats de simulation sont présentés sur la figure ci-dessous :

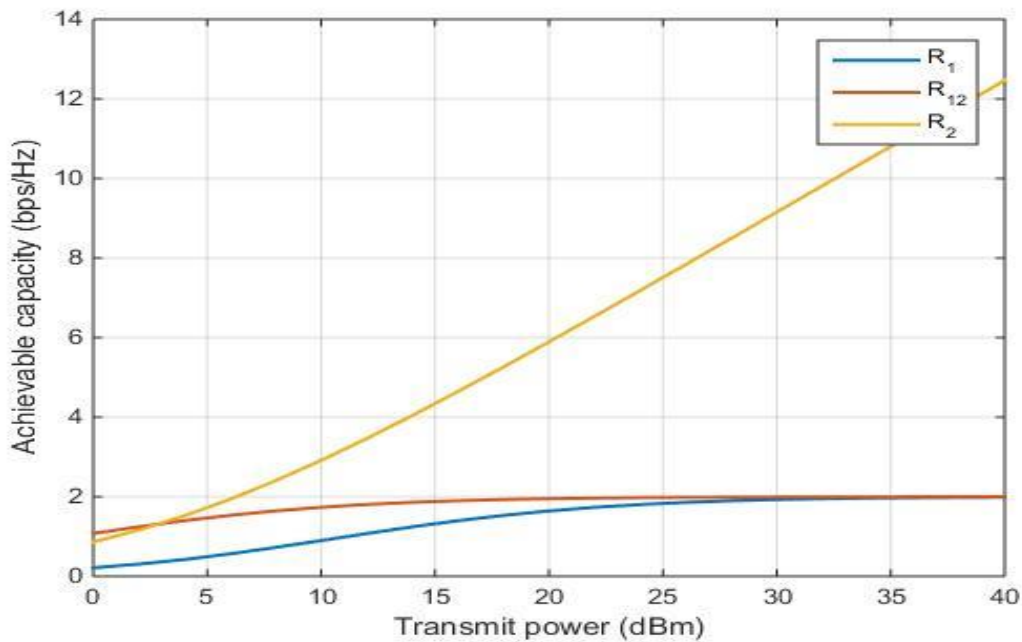


Figure III.6: capacité NOMA pour deux utilisateurs.



On peut voir sur la figure III.8 que la capacité des deux utilisateurs augmente à partir de la puissance de 5 dB, et la capacité de l'utilisateur 2 (proche) est plus grande que celle de l'utilisateur 1 (distant).

L'utilisateur 2 doit d'abord décoder  $x_1$ , puis effectuer SIC (successive interference cancellation), puis décoder son propre  $x_2$  et en raison des interférences de l'utilisateur 2, la capacité réalisable de l'utilisateur 1 est limitée, et l'utilisateur 2 n'a pas ce problème car les interférences sont supprimées par SIC.

En plus on a le R12 qui est également un paramètre important car c'est un taux atteignable par l'utilisateur 2 pour décoder  $x_1$ . Si nous voyons les expressions de leurs taux atteignables, R1 a un terme d'interférence supplémentaire au dénominateur, tandis que R2 n'a pas ce terme.

### A. Comparaison de capacité entre OMA et NOMA

Concernant l'autre partie de la capacité, nous utiliserons également les mêmes paramètres que la simulation précédente pour comparer la capacité entre les technologies OMA et NOMA. La formule de calcul de la capacité est :

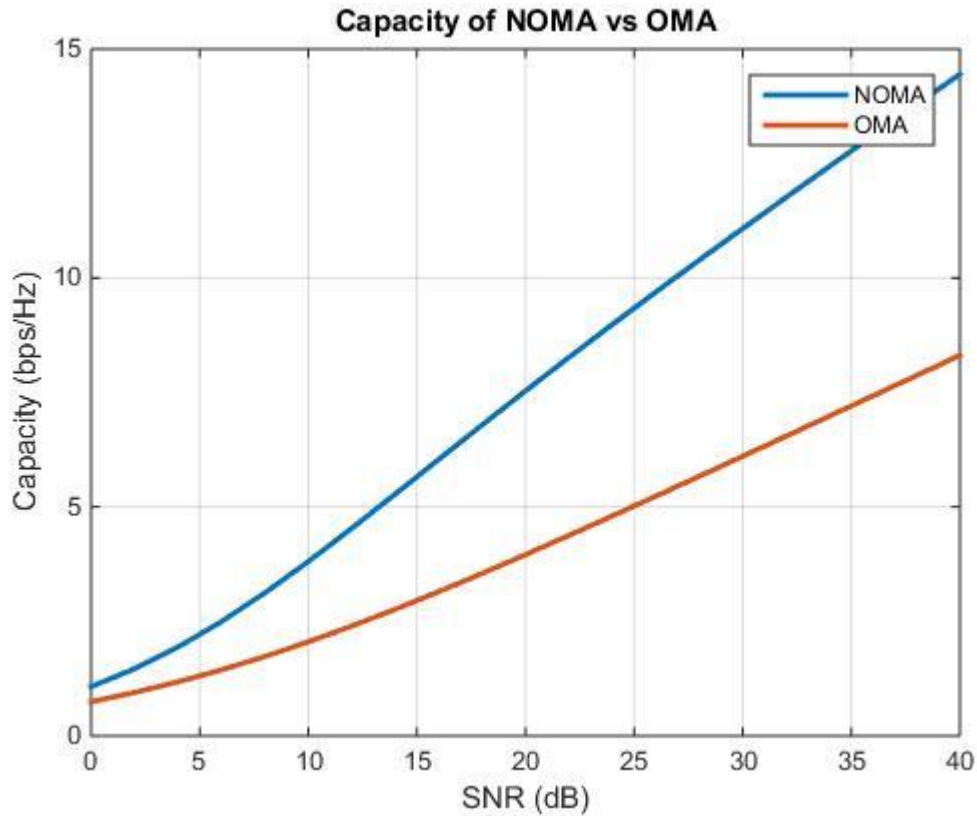
✓ Pour la technique OMA :

$$c_{OMA} = (1 + \beta) * \log_2\left(1 + \frac{\alpha_i P}{1 - \beta} * (|h_i|^2)\right) \quad (III.19)$$

✓ Pour la technique NOMA :

$$c_{NOMA} = \log_2\left(1 + \frac{\alpha_i P |h_i|}{1 - \alpha_i P |h_i|^2}\right) \quad (III.20)$$

Nous obtenons un graphique comme indiqué ci-dessous :



**Figure III.7** : comparaison de capacité NOMA vs OMA.

A partir de la figure III.7, nous pouvons voir que la capacité de la technologie NOMA est deux fois supérieure à celle de l'OMA. Pour un SNR de 25 dB, la capacité de OMA atteint 5 bps/Hz, par contre la technologie NOMA nous offre une capacité d'à-peu-près 10bps/Hz. Car OMA consiste à partager la bande passante ou l'intervalle de temps entre différents utilisateurs, ce qui signifie avec une petite capacité. Par contre, la technologie NOMA implique l'utilisation de toute la bande passante pour tous les utilisateurs avec un partage de puissance différent, ce qui se traduit par une grande capacité.

Par rapport à la capacité du système utilisant la technologie OMA, la capacité du système utilisant la technologie NOMA a été considérablement améliorée. Sur la base de ce résultat, nous avons également prouvé que NOMA peut également atteindre de plus grandes capacités de traversée qu'OMA.

#### III.4.2 Les performances en terme de BER

Dans cette section, nous évaluons les performances de BER de la technique NOMA dans un canal de Rayleigh, on considère toujours les mêmes paramètres de simulation précédente avec la modulation BPSK.

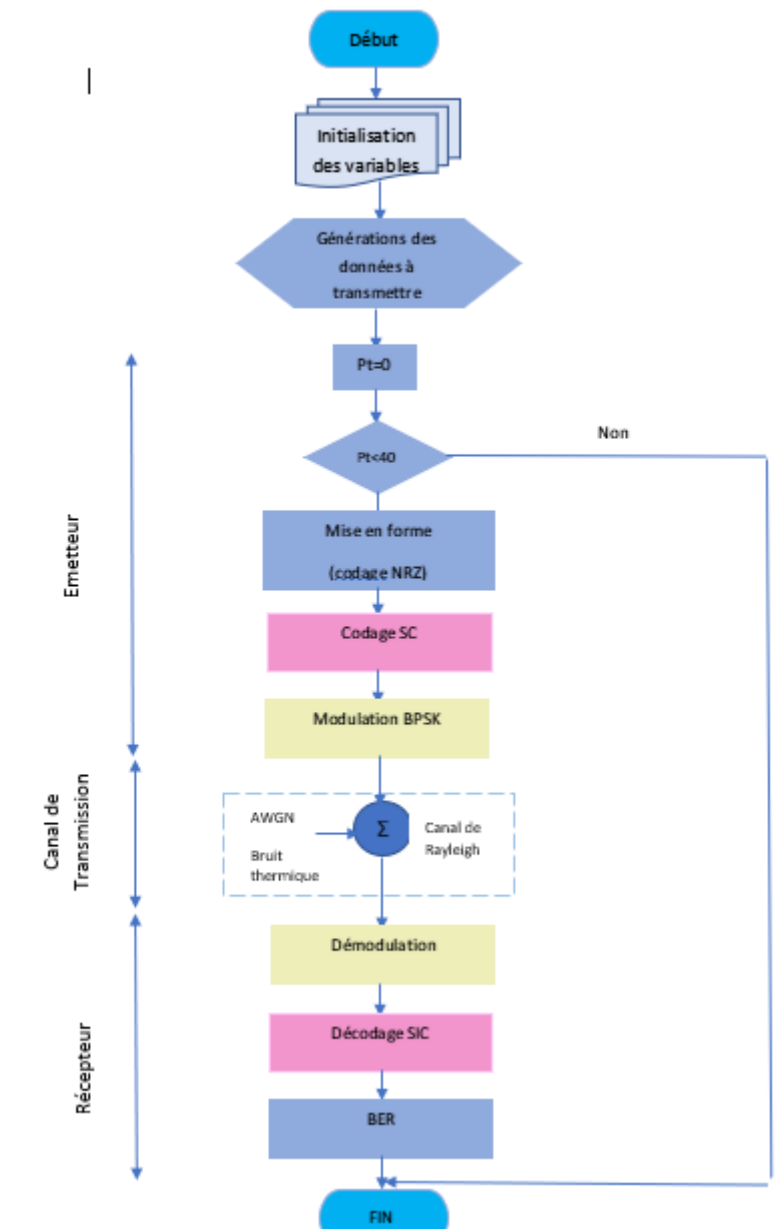
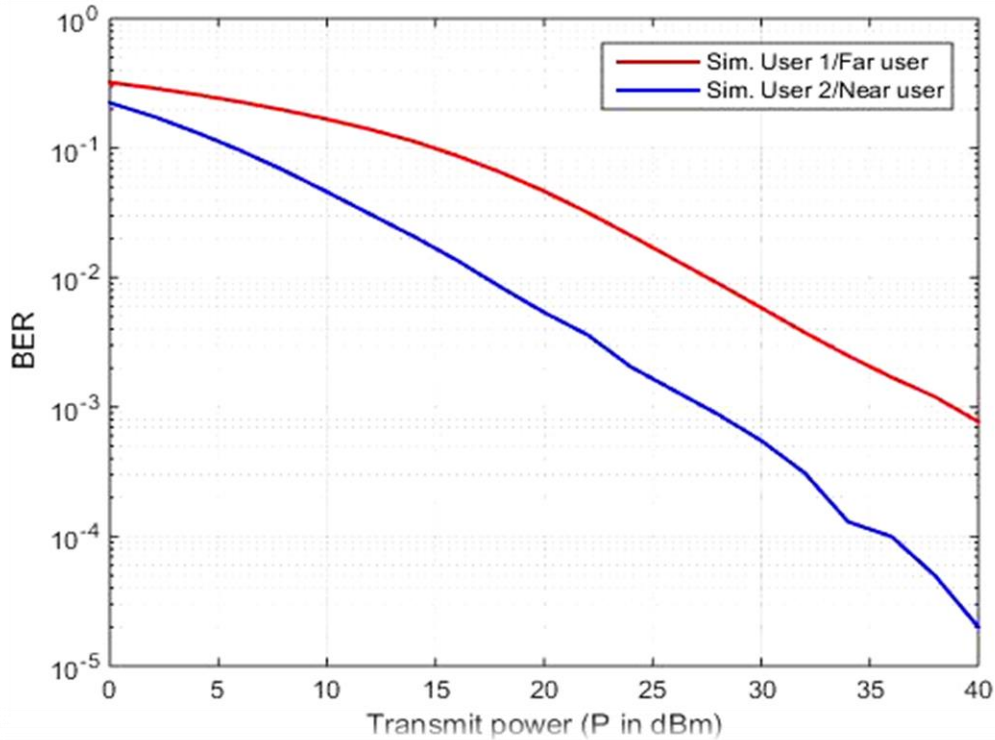


Figure III.8 : Organigramme de simulation de BER (modulation BPSK).



**Figure III.9 :** performance NOMA-BER pour deux utilisateurs.

La figure III.9 représente le BER de la technique NOMA pour les deux utilisateurs U1 et U2 en fonction de la puissance transmise. D'après cette figure, nous pouvons constater que l'utilisateur 2 (utilisateur proche) est plus performant que l'utilisateur 1 (utilisateur éloigné) en terme de BER. L'utilisateur 2 doit effectuer le décodage SIC, il doit décoder à la fois les données de l'utilisateur loin et ses propres données correctement, et tout erreur de ce décodage aura un impact sur son BER ;

Et aussi on voit que lorsque la puissance est inférieure de 5 dbm les 2 courbes de BER convergent avec même vitesse, mais lorsqu'elle atteint 10 dbm la courbe de BER d'utilisateur 2 converge plus rapidement que d'utilisateur 1.

#### III.4.2.1 BER pour les modulations (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM)

Pour vérifier l'influence de type de modulation sur le taux d'erreur binaire (BER) on a fait cette simulation pour les modulations suivantes : BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM selon l'organigramme de la figure III.10. Les résultats sont illustrés dans la figure suivante (**figure III. 11**)

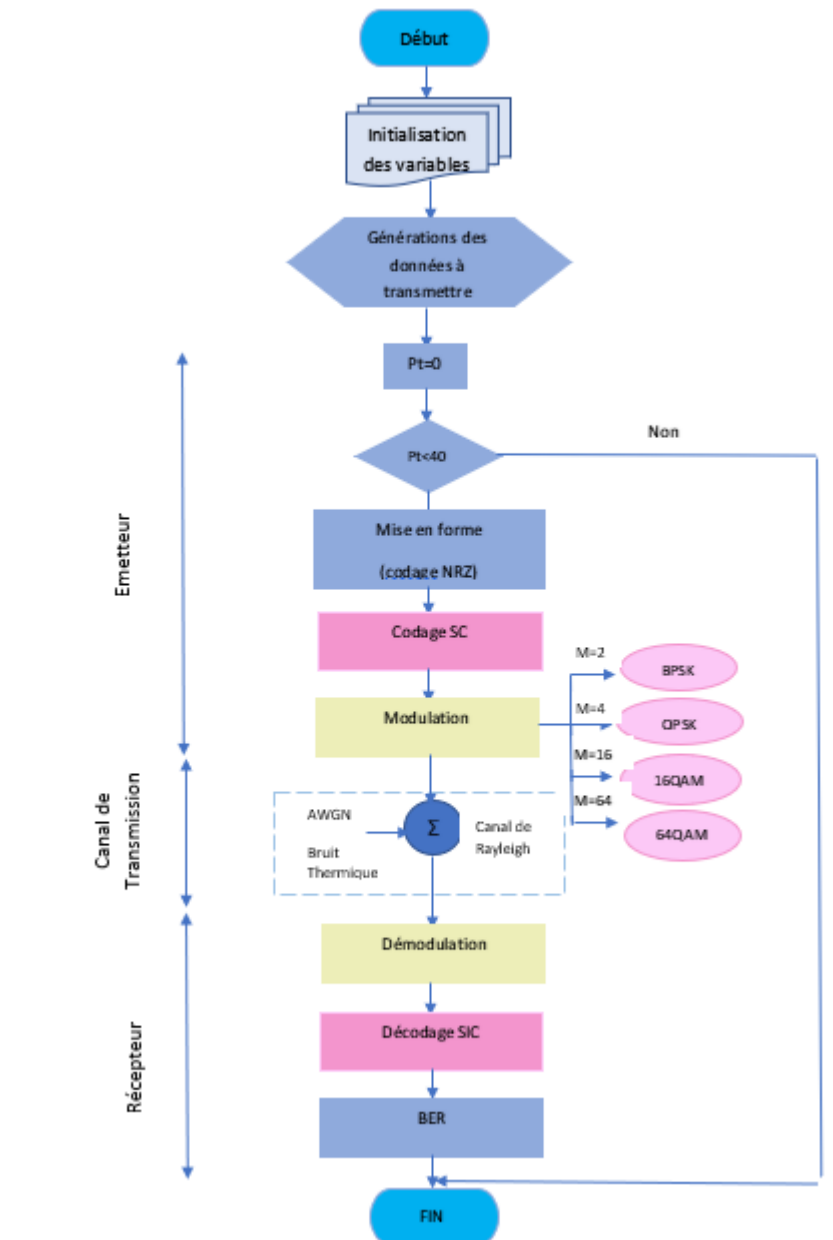


Figure III.10 : organigramme de simulation de BER (4 modulations).

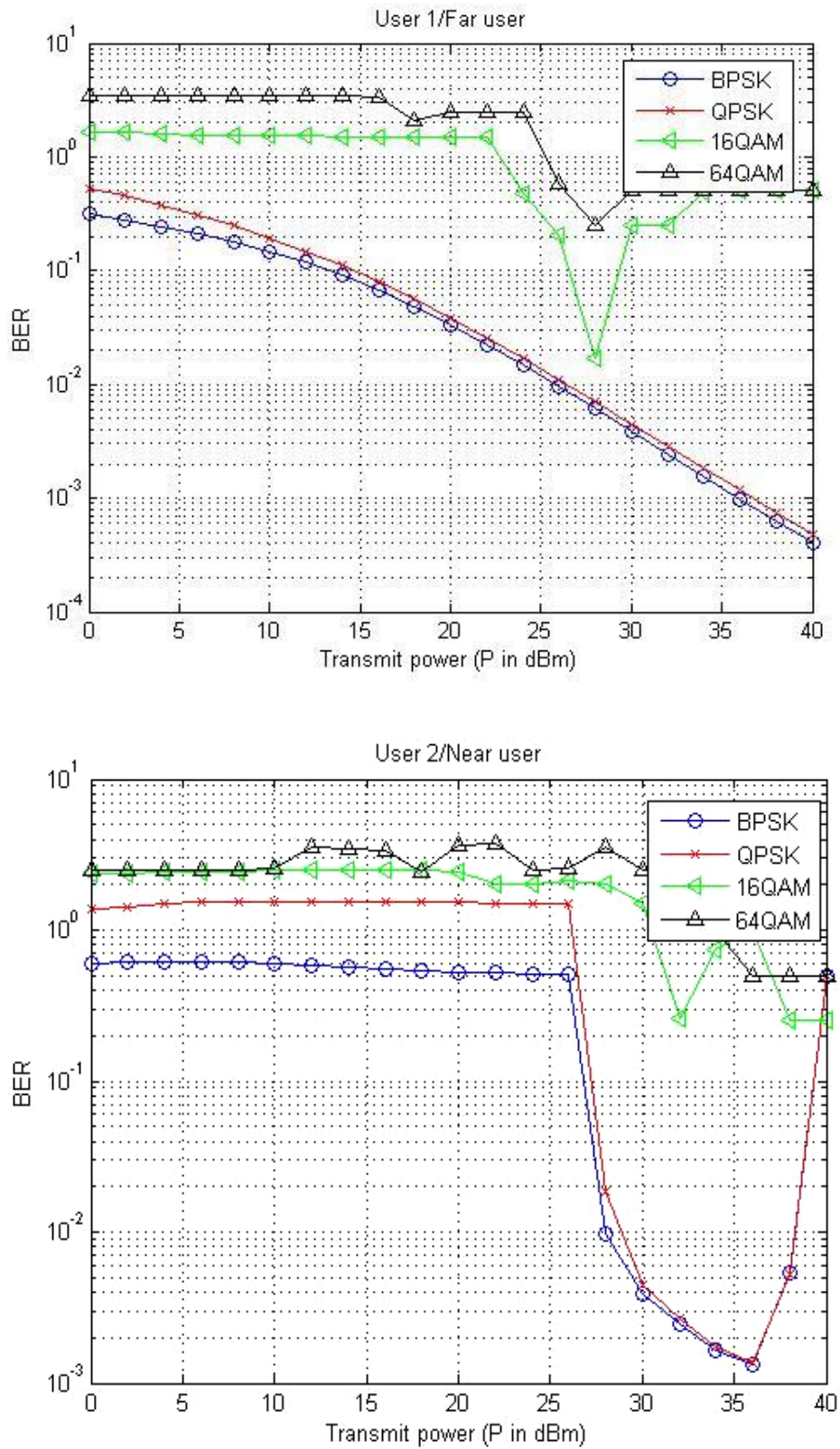


Figure III.11 : comparaison des BER pour les différentes modulations.

Figure III.11 représente la comparaison des performances BER des différentes modulations (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM) pour les deux utilisateurs, U1 et U2. Les résultats montrent que la modulation BPSK atteint les meilleures performances, et en augmentant l'ordre de modulation, les performances de BER se dégradent.

Nous remarquons aussi que pour les deux utilisateurs les performances de la modulation BPSK et QPSK sont presque les mêmes. De plus, lorsque l'on compare BPSK avec 16 QAM, cette dernière nécessite environ 15 dB pour U1 et 6dB pour U2 pour atteindre BER de  $10^{-2}$ . Sinon pour la modulation 64 QAM, le BER n'atteint jamais  $10^{-1}$ .

### III.5 Conclusion

Ce chapitre est fait pour savoir les normes de performances NOMA pour les systèmes de communication 5G. A l'aide du logiciel Matlab on a fait des simulations par des équations mathématiques citées dans le chapitre précédent.

Les résultats obtenus par les quatre schémas, nous confirment que la technique NOMA est plus performante en termes de BER et capacité surtout avec la modulation BPSK et c'est la technique la plus réussite jusqu'à présent.



*Conclusion générale*



# Conclusion générale

Avec l'arrivée de l'IoT, le nombre d'utilisateurs augmente de plus en plus ce qui a poussé les chercheurs à trouver des solutions pour améliorer l'efficacité spectrale. Le principal objectif de ce projet était d'étudier les performances de la technique NOMA tant que technique d'accès multiple pour les futures générations des réseaux mobiles.

Ce projet était l'occasion pour approfondir notre compréhension sur la nouvelle technologie 5G et beaucoup plus sur la technique NOMA. Le travail présenté dans ce projet de fin d'étude approuvé les points forts de NOMA, testé ses performances et assurés que c'est la plus performante jusqu'à présente. Notre travail se compose de deux grandes parties ; une partie théorique sur les différentes générations par la suite les termes de codage, canal et décodage, et la deuxième partie sur la simulation pour avoir les résultats.

Le premier chapitre c'était un état d'art sur toutes les générations existées ; de la 1G vers la 5G, en suite le deuxième chapitre était consacré à la technique NOMA, nous avons enchainé avec une présentation détaillée ses performances, son principe de fonctionnement et expliqué la chaîne de transmission, émetteur (le codage SC, la modulation), canal comme (distribution de canal de Rayleigh, canal de Rice, canal Nakagami-m et le bruit), récepteur (démodulation et le décodage SIC) . La simulation de la chaîne de transmission sous le logiciel MATLAB et la discussion des résultats ont été présentés dans la troisième partie de notre mémoire. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de la technique NOMA.

Vu que le thème de notre mémoire est un sujet d'actualité, il nous reste beaucoup de problématique à résoudre que nous n'avons pas pu résoudre par manque de temps comme :

- Élargir notre étude pour plusieurs utilisateurs.
- Utiliser d'autres bandes de fréquences.
- Combiner plusieurs codeurs pour diminuer le BER.
- Tester la technique dans d'autres canaux, par exemple ; le canal à bruit impulsif et le canal mixte.



*Bibliographie*

- 
- [1] Fradelle, B. « Réseaux cellulaires mobiles »-Tactis-
- [2] PIERRE, S. (2007). « Réseaux et systèmes informatiques mobiles : fondements, architectures et applications ». Presses internationales Polytechnique, Montréal.
- [3] Lemamou, E. A. (2014). « Planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération (4G) » ( École Polytechnique de Montréal).
- [4] BENMOSTEFA. O, BENAMAR.A.A.(2020) « Estimation d'un signal primaire dans un réseau 5G par un utilisateur secondaire à base d'un détecteur d'énergie »
- [5] Brisson.P, Kropt.P, « Global System for Mobils Communications ».(Université de Montériat)
- [6] Manhas, P., Thakral, S., & Kumar, C. (2010). « Performance analysis of GPRS/EDGE » . *Int J Electron Eng Res*, 655-658
- [7] NOKIA ; «GPRS Architecture: Interfaces and Protocols Training Document GPRS System » Course
- [8] AOUN.A ,(2015). «Optimisation d'un réseau UMTS».
- [9] Al-Manthari, B., Hassanein, H., & Nasser, N. (2007). «Packet scheduling in 3.5 G high-speed downlink packet access networks» . breadth and depth. *IEEE Network*, 21(1).
- [10] BETAOUAF. D, BOUMECHERA.W.(2015) « Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE».
- [11] Seide, G. (2011). « Planification d'un réseau de quatrième génération à partir d'un réseau de troisième génération » (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal). Résumé.
- [12] Boutana, Y., Boughaba, N., Haddad, S. E., & Boufersada, A. E. (2020). « Etude des méthodes d'optimisation de la capacité des réseaux de télécommunication » (Université de Jijel)
- [13] BOUCHENTOUF, H., & BOUDGHENE STAMBOULI, R. (2013). « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) »
- [14] Salem, M. (2020). « VIRTUALISATION DES RESEAUX SAN FIL (LTE) » ( Univ M'sila)
- [15] David, O. E., & Okhueigbe, E. I. (2017). « Roadmap and challenges to the deployment of 4G LTE network: the Nigerian experience ». *American Journal of Networks and Communications*.
- [16] Anne, W. E. I., & Paris, C. N. A. M. (2011). « 4G LTE (Long Term Evolution) ». *French. Sous la dir. de CNAM PARIS*
- [17] Sbit, S., Dadi, M. B., & Chibani, B. (2015). « SINR and throughput enhancement in LTE-Advanced ». *International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA) IEEE*.
- [18] Rakotonirina, H. B., Randriamitantoa, P. A., & Randriamitantoa, A. A. « Optimisation des performances du réseau 5G par la combinaison de la prédistorsion à base de réseau de neurones avec le codage LDPC »

- [19] Fafolahan, É. M. O. (2019). «*Gestion de la mobilité dans les réseaux denses de cinquième génération (5G)*». ( Polytechnique Montréal).
- [20] <https://www.myforfaitmobile.com>
- [21] Ngom, A. (2019). «*Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables ou " Small Cells" pour le standard 5G* » (Côte d'Azur).
- [22] NetWorld2020,E.T. P.(2014).«*5g:Challenges, research priorities, and recommendations*». Joint White Paper September
- [23] Brown, G. (2018). «*Ultra-reliable low-latency 5G for industrial automation. Technol». Rep. Qualcomm, 2, 52065394.*
- [24] Torres, F., Kerhervé, E., & Cathelin, A. «*5G: Tendances et Perspectives pour la Conception d'Amplificateurs de Puissance*».
- [25] Lausson.J (2020), «*5G: tout comprendre au réseau mobile du futur en 10 questions*»
- [26] Popovski, P., Trillingsgaard, K. F., Simeone, O., & Durisi, G. (2018). «*5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view*». *IEEE Access*, 6, 55765-55779.
- [27] Ericsson, (2017) «*5G systems 5G for humans and machines: use cases and requirements*» White Pap., vol. 284, no. rev B
- [28] Huawei.com
- [29] ALKAMA,D. BERKOUK,S.(2020). «*Nouvelle approche pour l'optimisation de l'allocation des ressources dans les réseaux cellulaires*». Thèse de doctorat , université Abderahmane Mira (Bejaia)
- [30] Liu, Y., Qin, Z., ElKashlan, M., Ding, Z., Nallanathan, A., & Hanzo, L. (2017). «*Non-orthogonal multiple access for 5G and beyond*». *Proceedings of the IEEE*, 105(12), 2347-2381
- [31] Moret, B. (2017). «*Amplificateur de puissance autonome pour applications OFDM et beamforming de la 5G aux fréquences millimétriques en technologie CMOS avancée*». (Bordeaux).
- [32] Yousaf, F. Z., Bredel, M., Schaller, S., & Schneider, F. (2017). «*NFV and SDN—Key technology enablers for 5G networks*». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(11), 2468-2478.
- [33] Borkar, S., & Pande, H. (2016). «*Application of 5G next generation network to Internet of Things*». *International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*. IEEE.
- [34] Ericsson Review (2014), «*5G Radio Acces*».
- [35] Olfa .C,(2017), «*Gestion Des Ressources Des Réseaux Cloud RAN Dans Un Contexte 5G*»
- [36] BOUHAFS .A, ICHOU. A.(2020). «*Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G*»

- [37] Gavois.S (2017), «Portait des ondes millimétriques au coeur des futurs réseaux 5G et de Facebook»-Impact-Harward-
- [38] SKTelecom 5G White Paper (2014).
- [39] Roche, E. M., & Townes, W. (2018). «La prochaine génération de téléphonie mobile (5G) et ses implications (Infrastructure, Réglementation) ». *Netcom. Réseaux, communication et territoires*.
- [40] Duchemin, D., Gorce, J. M., & Goursaud, C. (2018). «Code domain non orthogonal multiple access versus ALOHA: A simulation based study». *International Conference on Telecommunications (ICT) IEEE*.
- [41] Prabu, R. T., Benisha, M., Bai, V. T., & Yokesh, V. (2016). « Millimeter wave for 5G mobile communication application». In *2016 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*. IEEE. (Prabu, R. T., Benisha, M., Bai, V. T., & Yokesh, V. 2016)
- [42] Ali, Z. J., Noordin, N. K., Sali, A., Hashim, F., & Balfaqih, M. (2020). « Novel resource allocation techniques for downlink non-orthogonal multiple access systems». *Applied Sciences*, 10(17), 5892.
- [43] Riazul Islam, S. M., Zeng, M., Dobre, O. A., & Kwak, K. S. (2019). « Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA): How It Meets 5G and Beyond ». arXiv e-prints, arXiv-1907.
- [44] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li et K. Higuchi,(2013). «Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access». *IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring)*.
- [45] H. Tabassum, M. S. Ali, E. Hossain, M. Hossain et D. I. Kim,(2016) «Non-orthogonal multiple access (NOMA) in cellular uplink and downlink : Challenges and enabling techniques», arXiv preprint arXiv :1608.05783.
- [46] Cheon, J., & Cho, H. S. (2017). «Power allocation scheme for non-orthogonal multiple access in underwater acoustic communications». *Sensors*, 17(11), 2465.
- [47] Zhang, Y., Peng, K., Song, J., & Sun, Y. (2017). «Channel coding for NOMA schemes with a JD or SIC receiver. 2017 13th International Wireless Communications and Mobile». *Computing Conference (IWCMC)*. doi:10.1109/iwcmc.2017.7986523
- [48] Lin, C., Chang, Q., & Li, X. (2019). «A deep learning approach for MIMO-NOMA downlink signal detection». *Sensors*, 19(11), 2526
- [49] Kim, B., Chung, W., Lim, S., Suh, S., Kwun, J., Choi, S., & Hong, D. (2015). «Uplink NOMA with multi-antenna». In *2015 IEEE 81st vehicular technology conference (VTC Spring)*. IEEE.
- [50] Hamlili, H. (2020). « Développement de nouvelles techniques de modulation, de codage et de détection pour les systèmes de communications OFDM dans un environnement à bruits impulsifs  $\alpha$ -stables symétriques (AWSaSN) » (thèse de doctorat).

- [51] cours de Radiotechnique. *modulation d'amplitude* (chapitre1)
- [52] Francis Cottet, « *TRAITEMENT DU SIGNAL* » SCIENCES SUP Série Aide-mémoire chapitre 4 : Modulation des signaux
- [53] Pascal Scomazzon. « *Etude comparative de modulations numériques d'une sous-porteuse en radiodiffusion à modulation de fréquence* ». Université Paul Verlaine - Metz, 1992. Français
- [54] Ferhi, W.(2020) . « *Réseaux d'accès multiples non orthogonales NOMA pour la 5G* ». (université de Tlemcen).
- [55] Ezzaouia,(2018) « *Allocation de ressource opportuniste dans les réseaux sans fil multicellulaires* », Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire.
- [56] S. Zenadji,(2020). « *Allocation de ressources dans une cellule 5G tri-sectorielle* ». Thèse de doctorat, Université A.MIRA béjaia.
- [57] N. Benghabrit, (2019).« *Allocation de ressources dans les réseaux radio cognitifs* », Thèse de doctorat, Université Oran1 Ahmed Ben Bella.
- [58] « *Etude analytique des performances des systèmes radio-mobiles en présence d'évanouissements et d'effet de masque* »(2008), Thèse de doctorat, INSA de Lyon.
- [59] A Choumane ,(2011).« *Synthèse d'un canal de propagation par système multi antennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité* »
- [60] Affonso, E. T., Nunes, R. D., Rosa, R. L., Pivaro, G. F., & Rodriguez, D. Z. (2018). « *Speech quality assessment in wireless voip communication using deep belief network* ». IEEE Access, 6, 77022-77032.
- [61] BOUARFA, A. (2018). « *Formats de modulation et codes adaptés aux communications numériques optiques à très haut débit* ».
- [62] LADHEM, B., & MAHDAD, L. Etude l'association des antennes MIMO à Maximisation du rapport signal sur bruit avec la technique Multi-porteuses OFDM(univesité de Tlemcen) 2015
- [63] ANDRIAMANOHSOA, H.(2019). « *Technique d'accès multiple pour les réseaux de télécommunications 5G* ».
- [64] Marcano, A. S., & Christiansen, H. L. (2017). « *A Novel Method for Improving the Capacity in 5G Mobile Networks Combining NOMA and OMA*». IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). doi:10.1109/vtcspring.2017.8108677
- [65] Saito, K., Benjebbour, A., Harada, A., Kishiyama, Y., & Nakamura, T. (2015). « *Link-level performance of downlink NOMA with SIC receiver considering error vector magnitude*». IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring).
- [66] Boyer, A. (2010). « *Canaux de transmission bruités. Institut national des sciences appliquées de Toulouse* ».