



N° d'ordre:
N° de série:



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

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En: Télécommunication

Spécialité: Systèmes de télécommunication

Par: Barir Abdessettar, Gherbi Laid, Zair Souheil Mohammed Ismail

Thème

**Analyse des Performances d'un Système d'Accès
Multiple Non Orthogonale (NOMA)**

Devant le jury composé de:

Mr. Ajgou Riadh	Président
Mr. Chemsali Ali	Examineur
Mr. Khelil Abdellatif	Encadreur

2020-2021





Dédicace

*Dieu merci. Mon parcours universitaire
a pris fin après l'épuisement et les
épreuves.*

*Et ici, je termine ma thèse de fin
d'études avec toute la vigueur et
l'activité.*

*Je dédie mon diplôme et ma joie
à mon père, ma mère
et tous les membres de ma famille.*

*Je ne dois pas oublier mes amis,
mes professeurs et tous ceux qui m'ont
soutenu et encouragé dans ma vie et
m'ont donné un coup de pouce.*

Merci

Abdessettar...

A decorative border featuring a circular frame with a thin, light-colored line. The frame is adorned with various leaves: dark green leaves on the left and bottom-left, and golden-yellow leaves on the right and bottom-right. Small, light-colored specks are scattered along the bottom edge of the frame.

Dédicace

*A qui je la préfère à moi, elle s'est
sacrifiée pour moi*

*Tu n'as toujours ménagé aucun effort
pour me rendre heureux*

(ma mère bien-aimée)

*le propriétaire d'un bon visage et de
bonnes actions*

*il ne m'a pas épargné toute sa vie
(cher père)*

*A mes sœurs et amis, et à tous ceux qui
m'ont soutenu et m'ont aidé avec tout ce
qu'ils avaient, en particulier*

Yacine hamdane

*Je vous présente cette recherche, et
j'espère qu'elle vous satisfera*

Laid...

A decorative border featuring a circular frame with a thin, light-colored line. The frame is adorned with various leaves and branches. On the right side, there are several large, elongated leaves in shades of yellow and gold, some with small, light-colored flowers. On the left side, there are dark green leaves, some with small, light-colored flowers. The background is a light, textured cream color with some small, dark specks scattered throughout.

Dédicace

*A qui je la préfère à moi-même, et
pourquoi pas ; Tu t'es sacrifié pour moi
Tu n'as toujours ménagé aucun effort
pour me rendre heureux
(Ma mère bien-aimée).*

*Le propriétaire d'un bon visage, et de
bonnes actions, ne m'a pas épargné toute
sa vie
(Mon cher père).*

*À mes amis et à tous ceux qui m'ont
soutenu et m'ont aidé avec tout ce qu'ils
avaient, et à bien des égards
Je vous présente cette recherche, et
j'espère qu'elle vous satisfera.*

Souheil Mohammed Ismail...

Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions notre
encadreur*

Dr. Khelil Abdellatif

*Pour ses précieux conseils et son aide
tout au long de l'entreprise.*

*Nous adressons également nos sincères
remerciements au*

Dr. Faysal Khennoufa

*Et aux membres du jury pour l'intérêt
qu'ils portent à nos recherches en
acceptant de revoir nos travaux
et les enrichir de leurs suggestions.*

*Enfin, nous tenons également à
remercier toutes les personnes qui ont
été directement ou indirectement
impliquées dans la réalisation de ce
travail.*



Sommaire

Sommaire

	page
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	i
liste de figure	iv
Liste de tableau	v
Listes des symboles et abréviations	vi
Introduction générale	01
<i>Chapitre I : Généralités sur la 5G</i>	
I.1. Introduction	04
I.2. Evolution des réseaux mobiles	04
I.2.1 La première génération (1G)	04
I.2.2 La deuxième génération (2G)	05
I.2.3 La troisième génération (3G)	05
I.2.4 La quatrième génération (4G)	06
I.2.5 La cinquième génération (5G)	06
I.3. Objectifs de la 5G	07
I.4. Les caractéristiques techniques	08
I.5. Les principales technologies de la 5G	08
I.5.1 Les ondes millimétriques	09
I.5.2 Les micros-celles	10
I.5.3 MIMO Massif	11
I.5.4 Full-Duplex	12
I.5.5 Beamforming	13
I.6 La modulation d'indice	14

I.7. Les techniques d'accès	14
I.7.1 Orthogonal Fréquence Division Multiple Access (OFDMA)	14
I.7.2 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)	15
I.8. Conclusion	16
<i>Chapitre II : Le système d'accès multiple non orthogonale (NOMA)</i>	
II.1. Introduction	18
II.2. Définition	18
II.3. Principes de base NOMA	19
II.4. Codage de superposition (SC)	20
II.5. Annulation des interférences successives (SIC)	22
II.6. Liaison descendante NOMA (Down Link)	23
II.7. Liaison montante NOMA (Up Link)	24
II.8. Efficacité spectrale et efficacité énergétique	25
II.8.1. Efficacité spectrale	25
II.8.2. Efficacité énergétique	26
II.9. Les applications	26
II.10. Les avantages et les inconvénients	27
II.10.1. Avantages de NOMA	27
II.10.2. Inconvénients de NOMA	27
II.11. Conclusion	28
<i>Chapitre III : Simulation et Résultats</i>	
III.1. Introduction	30
III.2. Modèle de Simulation	30
III.3. Paramètres de Simulation	32
III.4. Analyse de Capacité	33
III.5. Analyse de probabilité de panne (outage probability)	34

III.6. Analyse de BER	37
III.7. Conclusion	39
Conclusion générale	41
Bibliographie	44

liste de figure

	Page
<i>Chapitre I : Généralités sur la 5G</i>	
Figure I.1: Evolution des réseaux mobiles	07
Figure I.2: Techniques utilisées dans la technologie 5G	09
Figure I.3: Spectre des ondes millimétriques	10
Figure I.4: Small cell	11
Figure I.5: Massive MIMO	12
Figure I.6: Full duplex	13
Figure I.7: Beamforming	14
Figure I.8: Orthogonal Frequency Division Multiple Access	15
Figure I.9: NOMA et OMA	15
<i>Chapitre II : Le système d'accès multiple non orthogonale (NOMA)</i>	
Figure II.1: Un exemple de codage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signal superposé	21
Figure II.2: Un exemple de décodage SC (a) décodant le signal de l'utilisateur 2 (b) décodant le signal de l'utilisateur 1	22
Figure II.3: Comment fonctionne SIC dans les récepteurs entre deux utilisateurs	23
Figure II.4: liaison descendante NOMA pour 2 utilisateurs	24
Figure II.5: Liaison montante NOMA pour 2 utilisateurs	25

<i>Chapitre III : Simulation et Résultats</i>	
Figure III.1: Schéma de deux utilisateurs OMA	31
Figure III.2: Schéma de deux utilisateurs NOMA	31
Figure III.3 : La capacité réalisable de 2 utilisateurs NOMA et OMA	33
Figure III.4 : La capacité des deux systèmes OMA et NOMA	34
Figure III.5: La probabilité de panne des utilisateurs de NOMA et OMA	35
Figure III.6 : La probabilité de panne des systèmes NOMA et OMA	37
Figure III.7 : La probabilité d'erreur des utilisateurs NOMA et OMA	38
Figure III.8 : La probabilité d'erreur des systèmes NOMA et OMA	39

Liste de tableau

	page
<i>Chapitre I : Généralités sur la 5G</i>	
Tableau I.1: Comparaisons entre les caractéristiques des générations mobile	07
<i>Chapitre III : Simulation et Résultats</i>	
Tableau III.1: Paramètres utilisés dans la simulation	32

Listes des symboles et abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
AMPS	Advanced Mobile Phone System
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
C-NOMA	cooperative NOMA
D2D	Device-to-device
DL	Downlink
DT	direct transmission
EE	Energy Efficiency
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile Communications
ICI	Inter-Carrier Interference
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution-Advanced
Massive-MIMO	Massive- Multiple Input Multiple Output
Matlab	MATrix LABoratory
MIMO	Multiple Input Multiple Outputs
mmWave	Millimeter-Wave
MU-MIMO	Multi-User MIMO

NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
PAPR	Peak-To-Average Power Ratio
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SC	superposition coding
SE	Spectral Efficiency
SIC	Successive Interference Cancellation
SISO	Single Input Single Output
SU	Single User
SMS	Short Message Service
SNR	Signal-To-Noise Ratio
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UIT	Union Internationale Des Télécommunications
UL	Up Link
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VLC	Visible light communications
Wi-Fi	Wireless Fidelity

The background features a central rectangular area with a white background and a thin gold border. This area is surrounded by a collage of various green leaves and branches, some with water droplets. The entire composition is set against a light-colored, marbled background with grey and white patterns. The text 'Introduction générale' is centered within the white box.

Introduction générale

Introduction générale

Le domaine des réseaux et des communications mobiles est soumis dans une large mesure rapide. Ce changements 'accompagne toujours de technologies nouvelles et plus sophistiquées pour faire face à la forte augmentation des demandes des clients en termes de rapidité et de disponibilité des services fournis. Afin de répondre à cette forte demande des réseaux, les opérateurs télécoms recherchent des solutions pour augmenter la capacité et la couverture de navigation Internet tout en maintenant la connectivité. En fait, une technologie de nouvelle génération, la 5G, est prévue. La 5G se présente comme la génération de la disruption, qui ne concerne plus uniquement le monde des opérateurs mobiles et de la communication grand public, mais qui offre de nouvelles perspectives et permet la coexistence d'applications et d'usages très diversifiés et unifiés dans une seule technologie. La 5G apparaît comme une nouvelle menace pour la numérisation de la société et de l'économie.

La 5G représente la cinquième génération de technologie cellulaire. Ils sont conçus pour augmenter la vitesse, réduire le temps de réponse et améliorer la flexibilité des services sans fil. La 5G a une vitesse maximale théorique de 20 Gbps, tandis que la vitesse maximale pour la technologie 4G n'est que de 1 Gbps. Cela peut améliorer les performances des applications d'entreprise et d'autres expériences numériques (telles que les jeux en ligne, la vidéo conférence et les voitures autonomes).

La 5G est une norme transversale, qui vise à résoudre une série de problèmes contrairement aux normes précédentes (3G et 4G). Il existe plusieurs normes fermes, avec plusieurs types de modifications et de technologies d'accès. L'objectif de ce mémoire est de mener une étude théorique et pratique (par simulation) pour comparer l'accès multiple orthogonal (OMA) et l'accès multiple non orthogonal (NOMA).

Nous avons divisé cette mémoire en trois (03) chapitres:

✎ **Premier Chapitre :**

Au premier chapitre, nous réaliserons une étude générale sur l'évolution des réseaux mobiles. Nous nous concentrerons davantage sur le réseau 5G. Nous définirons quelques concepts et technologies pour la cinquième génération.

✎ **Deuxième Chapitre :**

Au chapitre deux, nous effectuerons une étude générale et détaillée sur la technologie d'accès multiple non orthogonal (NOMA). Nous étudierons également les séries de liaisons montantes et descendantes, ainsi que certains concepts et relations mathématiques.

✎ **Troisième Chapitre :**

Dans le dernier chapitre, nous réaliserons une étude comparative entre (02) technologies connues dans le domaine de la communication sans fil (NOMA et OMA). Cette comparaison est basée sur des simulations MATLAB. Nous concentrerons sur les résultats graphiques qui examinent les performances des utilisateurs dans chaque technique.

Et nous terminerons par une conclusion générale.



Chapitre I:
Généralités sur la 5G

I.1. Introduction :

La 5G est une technologie mobile évolutive qui prend en charge de nouvelles fonctionnalités, encore plus efficaces que les précédentes. Elle permet aux réseaux mobiles de faire d'énormes progrès en matière de débit. Elle est conçue pour faire face à la demande exponentielle de connectivité et prendre en charge de nouvelles applications grâce à des débits très importants de données (plusieurs Gigabits). Dans ce chapitre, nous introduisons le réseau mobile 5G, ses caractéristiques, ses technologies et ses objectifs.

I.2. Evolution des réseaux mobiles :

La « 5G » fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile.

I.2.1 La première génération (1G) :

La première génération est la technologie de téléphonie sans fil. C'était la norme de télécommunication analogique qui a été introduite dans les années 1980 et qui s'est poursuivie jusqu'à l'invention de la technologie 2G. L'antécédent de la technologie 1G était les radio téléphones mobiles ou 0G. Cette technologie a été utilisée dans les premiers combinés de téléphones mobiles sans fil. Lorsque le téléphone mobile a commencé à gagner en popularité auprès du grand public, il a remplacé le réseau 0G. La technologie 1G a été utilisée pour la première fois au Japon et s'est rapidement répandue dans le monde entier. La technologie 1G utilise le signal radio analogique. Grâce à ce réseau, l'appel vocal est modulé à une fréquence plus élevée d'environ 150 MHz. Cela a été fait avec l'aide de l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA). Les téléphones mobiles 1G utilisaient une seule norme de réseau universelle connue sous le nom de système de téléphonie mobile avancé (AMPS). Les réseaux de téléphonie mobile étaient destinés à des applications industrielles, militaires et de recherche. Ils ont utilisé une série de réseaux différents avec de très petites zones de diffusion.

I.2.2 La deuxième génération (2G) :

La technologie 2G signifie la technologie de téléphonie sans fil de deuxième génération. Il était basé sur la technologie connue sous le nom de système global pour la communication mobile, également appelée GSM. Cette technologie a permis divers réseaux de services susceptibles de recevoir des messages texte, des messages photo et des MMS (messages multimédias). La deuxième génération a été lancée en Finlande en 1991. Toutes les conversations téléphoniques ont été cryptées numériquement.

Le GSM a permis aux utilisateurs d'utiliser les services de message courts (SMS) partout et à tout moment. Le SMS est un moyen simple et bon marché de proposer un message à n'importe qui plutôt qu'un appel vocal ou une conférence. Les technologies 2G étaient soit l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), soit l'accès multiple par répartition par code (CDMA). TDMA permet la division du signal en tranches de temps. CDMA attribue à chaque utilisateur le code spécial pour communiquer sur un canal physique multiplex. La technologie 2G offre une confidentialité améliorée qui n'était pas possible avec les technologies antérieures. La technologie 2G introduit les services de données numériques tels que les SMS et les courriels qui ont permis au monde de se rapprocher. La famille de cette technologie comprend 2.5G et 2.75G.

I.2.3 La troisième génération (3G) :

Cette technologie est largement utilisée dans les téléphones mobiles et les cartes de données. La 3G décrit la mise à jour du réseau de télécommunications cellulaires à travers le monde pour utiliser les technologies 3G. Le Japon a été le premier pays à lancer commercialement la 3G en 2001. La transition vers la 3G s'est achevée en 2005-2006 au Japon. En 2005, 23 réseaux dans le monde exploitaient la technologie 3G. Certains sont uniquement destinés à des tests et certains opérateurs fournissent des services aux consommateurs. L'union internationale des télécommunications (UIT) a défini la demande de 3G dans les

télécommunications mobiles internationales (IMT) -2000 pour faciliter la croissance, augmenter la bande passante et prendre en charge diverses applications. La famille de cette technologie comprend 3.5G et 3.75G.

I.2.4 La quatrième génération (4G) :

Le système sans fil 4 G est un système sans fil à commutation de paquets avec une couverture étendue et un débit élevé. Il est conçu pour être rentable et pour fournir une efficacité spectrale élevée. Le sans-fil 4G utilise la technique du multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), de la bande radio ultra large (UWB) et du sans-fil millimétrique. Des débits de données de 20 Mbps sont utilisés. La vitesse mobile atteindra 200 km / h. Les technologies PRE-4G telles que le Wi MAX mobile et l'évolution à long terme (LTE) sont sur le marché depuis 2006 et 2009 respectivement, et sont souvent qualifiées de 4G.

I.2.5 La cinquième génération (5G) :

La 5G peut être une communication sans fil complète sans limitation, ce qui nous apporte un monde réel parfait. Le World Wide Web sans fil désigne la phase majeure des normes de télécommunications mobiles au-delà de la 4G. 5G est la dernière génération de communication mobile cellulaire. Il succède aux systèmes 4G (LTE-A, Wi-Max), 3G (UMTS, LTE) et 2G (GSM). Les performances de la 5G visent un débit de données élevé, une latence réduite, des économies d'énergie, une réduction des coûts, une capacité système plus élevée et une connectivité massive des appareils. Le système de communications cellulaires mobiles 5G offre un niveau de performance bien supérieur à celui des générations précédentes de systèmes de communications mobiles.

La 5G est un système sans fil à commutation de paquets avec une large couverture et un débit élevé. Le sans-fil 5G utilise l'OFDM et le sans-fil millimétrique qui permet un débit de données de 20 Mbps et une bande de

fréquences de 2 à 8 GHz [1]. La figure I.1 représente l'évolution des réseaux mobiles.

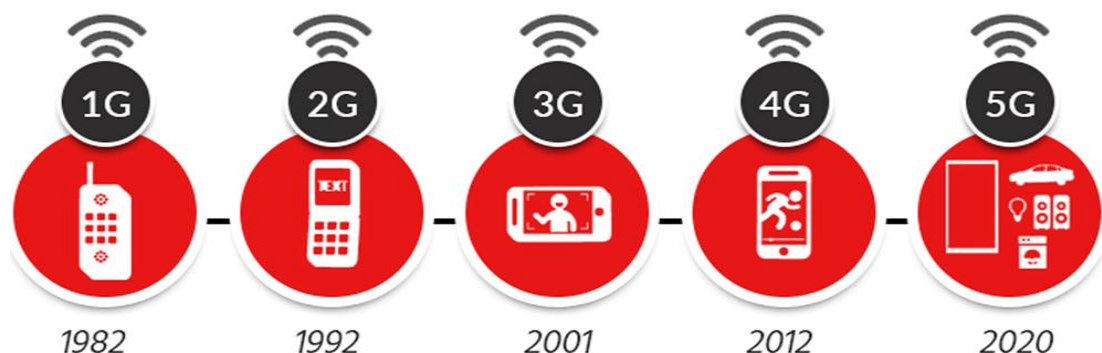


Figure I.1: Evolution des réseaux mobiles.

I.3. Objectifs de la 5G :

Le débit théorique validé des réseaux 5G est de 1 T bit/s au km² et 100 Mbit/s de débit assuré pour l'utilisateur. À titre de comparaison, la 4G offre 1 Gbit/s par cellule, un débit qui est donc partagé entre les habitants couverts par cette cellule, soit en pratique aux alentours de 30Mb/s.

Le but est effectivement de connecter non seulement les Smartphones et les tablettes mais plus globalement l'ensemble des objets. Or on estime qu'il y en a environ un million au kilomètre carré.

Surtout, le réseau 5G réduira considérablement les temps de latence à 1 ms contrairement aux 30-40 ms observés aujourd'hui. En plus du traditionnel sur internet, l'objectif est bien de pouvoir prendre le contrôle des objets à distance. Seul un temps de latence extrêmement faible est donc acceptable pour le pilotage d'un drone ou d'une voiture connectée[2].

	1G	2G	3G	4G	5G
Date approximation de déploiement	Années 1980	Années 1990	Années 2000	Années 2010	Années 2020
Vitesse de téléchargement théorique	2 kbit/s	384 kbit/s	56 Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Temps de latence	Sans objet	629 ms	212 ms	60-98 ms	<1 ms

Tableau I.1: Comparaisons entre les caractéristiques des générations mobile

I.4. Les caractéristiques techniques :

Les premiers déploiements de la 5G s'effectuent principalement dans la bande de fréquence 3,5 GHz qui est une bande très proche des réseaux mobiles actuels (3G/4G et Wi-Fi) en terme de couverture. Cela signifie que beaucoup de sites d'antennes existants pourront être réutilisés pour la 5G, sans ajout de nouveaux sites.

La principale différence avec les réseaux existants sera réside dans l'utilisation d'antennes intelligentes MIMO (en français : Entrées Multiples Sorties Multiples), constituées chacune d'un grand nombre d'antennes miniaturisées et qui permettent d'atteindre des débits et une capacité de transmission inaccessibles aujourd'hui en 4G.

Ces antennes intelligentes émettent des ondes radio là où le besoin de connexion le réclame. Etant directionnelles, elles émettent uniquement à la demande, c'est-à-dire seulement aux moments où les terminaux ont besoin de se connecter au réseau. Et à l'inverse des antennes classiques qui émettent sans discontinuité sur la totalité d'une zone géographique (les cellules), elles desservent à la demande le terminal qui se déclare sur le réseau. Cette caractéristique permet aux antennes de se mettre en veille lorsqu'elles ne sont pas activées, d'où une meilleure gestion de la consommation d'énergie [3].

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

La 5G utilise des fréquences de diffusion ultra-hautes (UHF entre 6-300 GHz) c-à-d les ondes millimétriques pour transférer rapidement d'énormes quantités de données, en sachant que la plage de diffusion est limitée, en survenant ce problème là en utilisant la technologie de Beamforming à travers MU-MIMO (multi-utilisateur MIMO) qui permet la diffusion continue des données sur plusieurs appareils et le processus multi-cell handover pour assurer

des connexions de l'ordre de gigabit même en marche. La figure I.2 représente techniques utilisées dans la technologie 5G.



Figure I.2: Techniques utilisées dans la technologie 5G.

I.5.1 Les ondes millimétriques :

Le spectre des ondes millimétriques tombe dans la plage de 30 GHz à 300 GHz. Le terme d'onde millimétrique décrit la brièveté de la longueur d'onde radio, qui ne mesure que quelques millimètres ou moins. La 5G l'industrie utilise également un spectre un peu plus long que mmWaves, telles que 24 GHz et 28 GHz, mais ces fréquences partagent beaucoup les mêmes caractéristiques de fonctionnement. Ces bandes, avec les fréquences de 39 GHz et plus sont appelées onde millimétrique. L'attraction principale du spectre mmWave est sa large bande passante, permettant de livrer services sans fil gigabit. Un autre avantage de ce spectre est que les antennes utilisées pour transmettre et recevoir sont petites que vous pouvez emballer un grand nombre d'éléments d'antenne dans une petite surface, permettant d'atteindre des gain d'antenne et formation de faisceaux, même dans les combinés. Cependant, le principal inconvénient est la petite cible zone utilisée pour recevoir un signal. Progrès dans la fabrication silicium ont réduit le coût de matériel mmWave considérablement au point où il est maintenant faisable pour l'électronique grand public. Avec plus recherche et développement en cours, l'adaptation de mmWave aux systèmes 5G semble bien sur son chemin [4]. La figure I.3 représente spectre des ondes millimétriques.

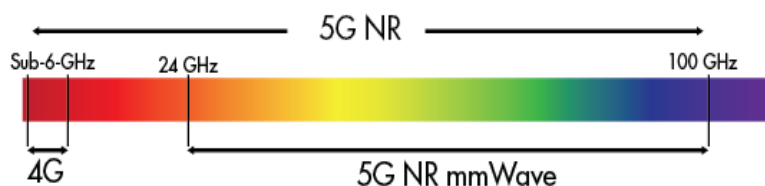


Figure I.3: Spectre des ondes millimétriques.

I.5.2 Les micros-celles :

Les petites cellules utilisent des systèmes de transmission sans fil (ou «stations de base») à faible puissance et à courte portée qui couvrent de petites zones géographiques ou de petits espaces intérieurs et extérieurs de proximité. Les petites cellules ont toutes les mêmes caractéristiques que les stations de base classiques utilisées par les entreprises de télécommunications depuis des années. Cependant, ils sont uniquement capables de gérer des débits de données élevés pour le haut débit mobile et les consommateurs et pour l'IoT, des densités élevées d'appareils à faible débit et à faible consommation. Cette fonctionnalité les rend parfaits pour le déploiement de la 5G qui promet des vitesses ultra-élevées, un million d'appareils par mile carré et des latences de l'ordre de la milliseconde.

Ces petites stations de base («émetteurs-récepteurs») peuvent être montées au mur pour des applications intérieures, et bon nombre des petites tours ou des lampadaires sont à l'extérieur. Les connexions backhaul sont réalisées avec des connexions fibre, filaire et micro-ondes, ce qui rend la configuration moins compliquée que les formes précédentes [5].

Il existe aujourd'hui trois (03) types de petites cellules dans l'industrie: les femto cellules, les pico cellules et les microcellules - chacune avec sa distinction basée sur sa capacité de couverture et le nombre d'utilisateurs individuels qu'elle peut prendre en charge [5]. La figure I.4 représenter petites cellules.

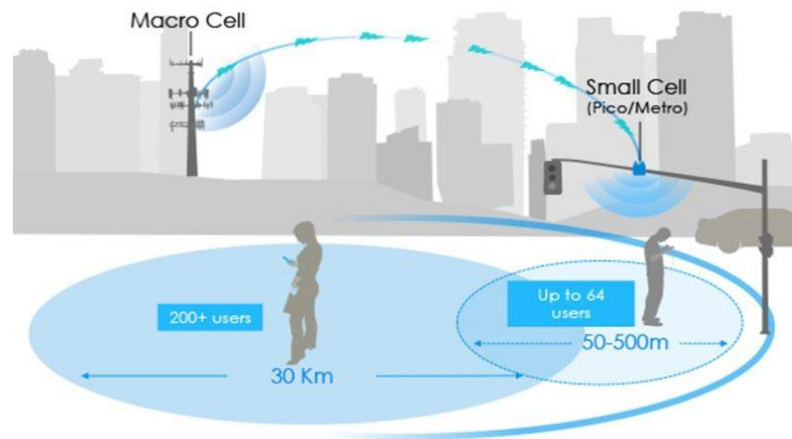


Figure I.4: Small cell.

I.5.3 MIMO Massif :

Massive MIMO est actuellement la technologie d'accès sans fil inférieure à 6 GHz la plus convaincante pour la 5G. Depuis sa création il y a une dizaine d'années, il est passé d'une idée «académique» sauvage à l'un des sujets de recherche les plus brûlants de la communauté des communications sans fil, ainsi qu'à un élément de travail principal de la normalisation 5G.

Massive MIMO est une technologie multi-utilisateurs MIMO (sorties multiples à entrées multiples) qui peut fournir un service uniformément bon aux terminaux sans fil dans les environnements à forte mobilité. Le concept clé est d'équiper les stations de base de réseaux de nombreuses antennes, qui sont utilisées pour desservir plusieurs terminaux simultanément, dans la même ressource temps-fréquence. Le mot «massif» fait référence au nombre d'antennes et non à la taille physique. Les réseaux d'antennes ont des facteurs de forme intéressants: dans la bande 2 GHz, un réseau rectangulaire à demi-longueur d'onde avec 200 éléments à double polarisation mesure environ 1,5 x 0,75 mètre. Massive MIMO fonctionne en mode TDD et la formation de faisceaux de liaison descendante exploite la réciprocité de liaison montante-descendante de la propagation radio. Plus précisément, le réseau de stations de base utilise des

estimations de canal obtenues à partir de pilotes de liaison montante transmis par les terminaux pour apprendre le canal dans les deux directions.

Cela rend Massive MIMO entièrement évolutif en ce qui concerne le nombre d'antennes de la station de base. Les stations de base de Massive MIMO fonctionnent de manière autonome, sans partage de données utiles ou d'informations sur l'état des canaux avec d'autres cellules [6]. La figure I.5 représente massive MIMO.

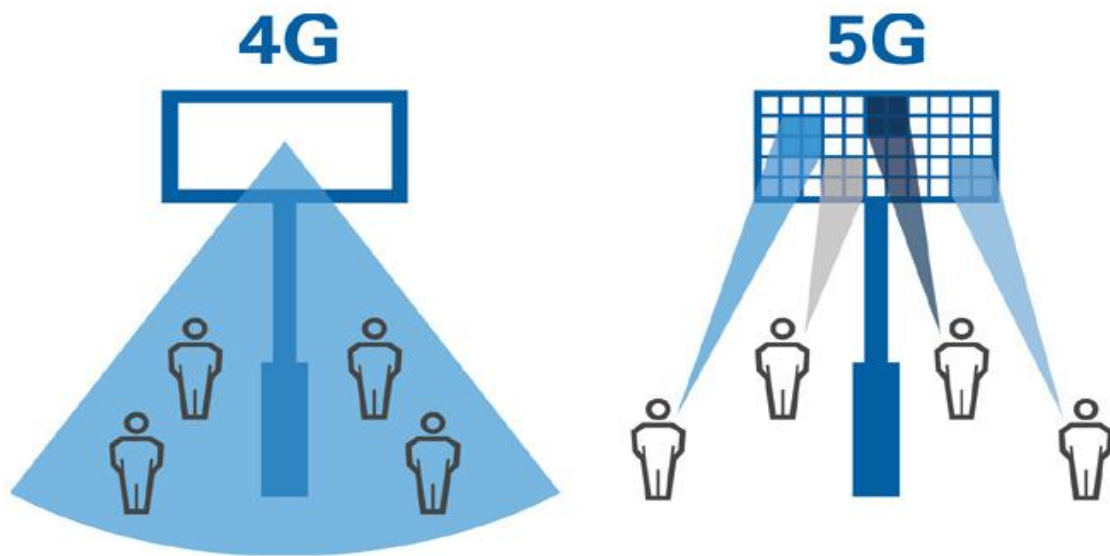


Figure I.5: Massive MIMO.

I.5.4 Full-Duplex:

Pour comprendre pourquoi la technologie duplex intégral est si convaincante, il est important de comprendre d'abord comment les réseaux 3G et 4G gèrent les signaux de liaison montante par rapport aux signaux de liaison descendante. Il existe deux configurations de base:

Duplexage par répartition en fréquence (FDD): Avec FDD, les signaux d'émission et de réception sont dans différentes bandes de spectre. En d'autres termes, le signal de liaison montante est envoyé dans un bloc de spectre et la liaison descendante est transmise dans un autre bloc de spectre.

Duplex par répartition dans le temps (TDD): Avec TDD, la liaison montante est séparée de la liaison descendante en utilisant différentes tranches de temps dans la même bande de fréquences. Cela signifie que les signaux de liaison montante se connecteront pendant quelques secondes, puis les signaux de liaison descendante se connecteront pendant quelques secondes.

Le duplex intégral est différent. La technologie promet de donner aux réseaux sans fil la possibilité de transmettre et de recevoir simultanément des signaux sans fil sur un seul canal de spectre en même temps [7].

Un inconvénient du duplex intégral est qu'il crée également plus d'interférences de signal, à travers un écho embêtant. Lorsqu'un émetteur émet un signal, ce signal est beaucoup plus proche de l'antenne de l'appareil et donc plus puissant que tout signal qu'il reçoit. Attendre qu'une antenne parle et écoute en même temps n'est possible qu'avec une technologie spéciale d'annulation d'écho [8]. La figure I.6 représente le duplex intégral.



Figure I.6: Full duplex.

I.5.5 Beamforming:

Le Beamforming est la possibilité d'adapter le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes selon un certain modèle. Cette technologie consiste à focaliser les ondes en direction de chaque objet spécifique. Cette précision réduit les interférences et augmente l'efficacité du signal et donc consomme moins d'énergie, en même temps économise de la bande passante et de l'énergie. La fréquence de chaque faisceau s'adaptera aux besoins des applications [9]. La figure I.7 représente le Beamforming.

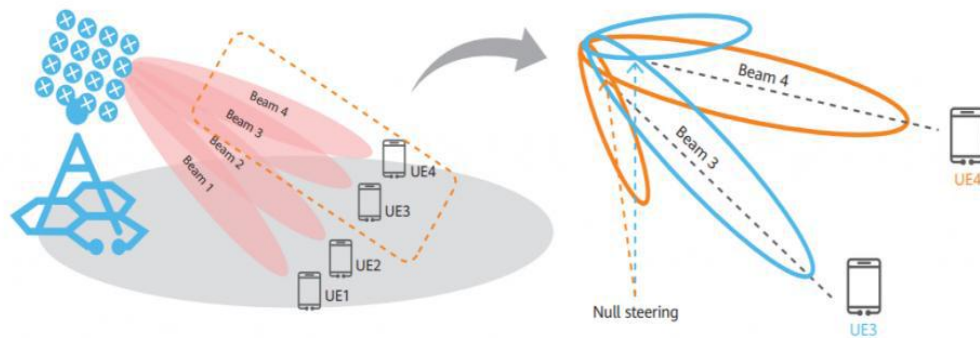


Figure I.7: Beamforming

I.6 La modulation d'indice :

Comme son nom l'indique, la modulation d'indice module les signaux grâce aux indices de certains supports, qui peuvent être pratique, comme l'antenne, la porteuse de fréquence et la sous-porteuse, ou virtuelle, comme le temps emplacement, matrice spatio-temporelle et ordre d'activation de l'antenne. Les indices sont intégrés dans les signaux émis ou reçus, consommant généralement peu ou même pas d'énergie mais portant des informations supplémentaires. Cela implique qu'un compromis attractif entre l'efficacité spectrale et l'efficacité énergétique peuvent être obtenues par modulation d'indice. En outre, l'inactivation de certaines sous-porteuses OFDM pour la modulation d'indice soulage considérablement le problème de PAPR et ICI. Ces mérites font de la modulation d'indice un candidat compétitif pour les communications sans fil 5G [10].

I.7. Les techniques d'accès :

I.7.1 Orthogonal Fréquence Division Multiple Access (OFDMA) :

La technique d'accès OFDMA est largement utilisée et a connu un grand succès pour le réseau 4G. Elle pourrait même être utilisée comme un système d'accès multiple pour le réseau 5G. Toutefois, elle exige l'utilisation de l'OFDM qui nécessite une orthogonalité entre les sous-porteuses et l'utilisation d'un préfixe cyclique.

Or, on sait que cela présente quelques inconvénients. En conséquence d'autres systèmes d'accès multiples sont à l'étude [11]. La figure I.8 représente OFDMA.

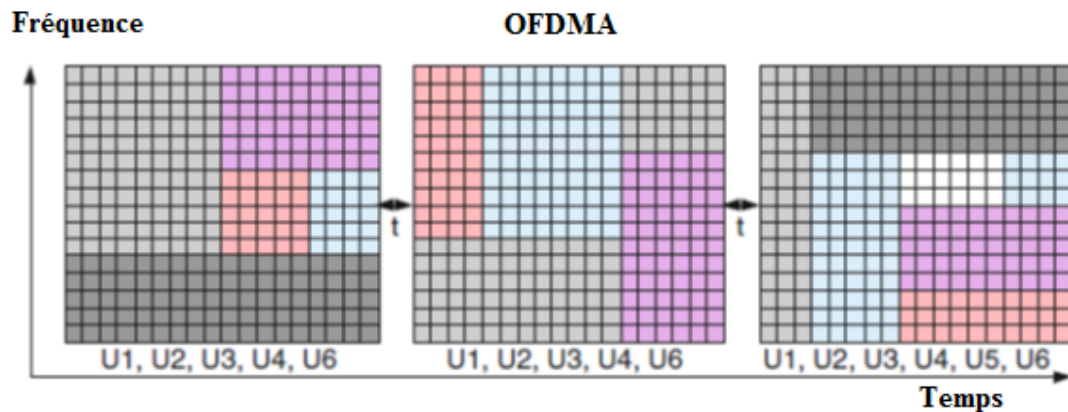


Figure I.8: Orthogonal Frequency Division Multiple Access. [11]

I.7.2 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) :

Dans un système à accès multiple orthogonal (OMA), tel que TDMA et FDMA, l'allocation orthogonale de ressources est utilisée entre les utilisateurs pour éviter les interférences intra-cellule (inter-utilisateurs). Le nombre d'utilisateurs pouvant être pris en charge est alors limité par le nombre de ressources orthogonales disponibles. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) permet et utilise l'interférence intra-cellule dans l'allocation des ressources des utilisateurs. Ingérence techniques d'annulation, telles que l'annulation d'interférence réussie (SIC) ou multi-utilisateur détection (MUD) sont utilisées pour atténuer ces interférences. NOMA est une technique étant considéré par 3GPP dans la version 16 [12]. La figure I.9 représente OMA et NOMA.

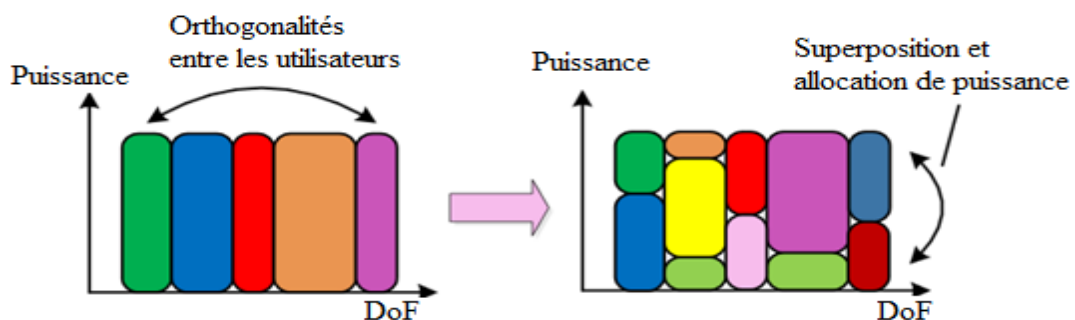



Figure I.9: NOMA et OMA.[12]

I.8. Conclusion :

5G devrait être déployé, fournissant une connectivité omniprésente pour les utilisateurs mobiles. Outre le pic de taux de données de Gbit/s attendu, le défi majeur pour 5G est le nombre massif de machines connectées et la croissance 1000x du trafic mobile. Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu des potentiels catalyseurs de 5G. En bref, et les technologies de la nouvelle génération 5G toutefois, ces développements technologiques doivent être alimentés par l'attribution de nouveaux spectres pour les communications mobiles. Dans le 2ème chapitre, nous attaquerons l'un des techniques importante pour le la 5G et au-delà, c'est le NOMA.



Chapitre II:
Le système d'accès
multiple non orthogonale
(NOMA)

II.1. Introduction :

Il existe différents types de techniques NOMA, y compris le domaine de puissance et le domaine de code. Ce chapitre se concentre principalement sur le domaine de puissance NOMA qui utilise le codage de superposition (SC) au niveau de l'émetteur et l'annulation successive des interférences (SIC) au niveau du récepteur. Dans ce deuxième chapitre, nous explorons le concept d'un schéma d'accès multiple non orthogonale (NOMA) pour un futur accès radio 5G. Nous présentons d'abord une définition et des principes de base, ainsi qu'une discussion sur le codage de superposition (SC) et l'annulation successive des interférences (SIC), puis les bases techniques pour les liaisons descendantes et montantes. Enfin, nous discutons de l'efficacité spectrale (SE) et de l'efficacité énergétique (EE). Ainsi que les applications et les avantages et les inconvénients.

II.2. Définition :

Les caractéristiques des régimes OMA peuvent être résumées comme suit. En TDMA, les informations pour chaque utilisateur sont envoyées dans des intervalles de temps sans chevauchement, de sorte que les réseaux basés sur TDMA nécessitent une synchronisation temporelle précise, ce qui peut être difficile, en particulier dans la liaison montante. Dans les implémentations FDMA, telles que l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA), les informations pour chaque utilisateur sont attribuées à un sous-ensemble de sous-porteuses. CDMA utilise des codes afin de séparer les utilisateurs sur le même canal.

NOMA est fondamentalement différent de ces schémas d'accès multiples qui fournissent un accès orthogonal aux utilisateurs soit dans le temps, la fréquence, le code ou l'espace. Dans NOMA, chaque utilisateur fonctionne dans la même bande et en même temps où il se distingue par ses niveaux de puissance. NOMA utilise un codage de superposition au niveau de l'émetteur de

sorte que le récepteur à annulation d'interférence successive (SIC) puisse séparer les utilisateurs à la fois dans les canaux de liaison montante et de liaison descendante. NOMA a été proposée comme technologie d'accès radio candidate pour les systèmes cellulaires 5G. La mise en œuvre pratique de NOMA dans les réseaux cellulaires nécessite une puissance de calcul élevée pour mettre en œuvre l'allocation de puissance en temps réel et les algorithmes successifs d'annulation des interférences [13].

II.3. Principes de base NOMA :

Le principe de base de NOMA est de servir simultanément plusieurs utilisateurs sur le même ressources spectrales (c'est-à-dire temps, fréquence, code et espace) mais avec une puissance de différents niveaux, au détriment d'une interférence inter-utilisateurs minimale. Contrairement à l'accès multiple orthogonal conventionnel (OMA), où chaque utilisateur est servi sur ressources spectrales exclusivement allouées, NOMA superpose les signaux de message d'utilisateurs multiples dans le domaine de puissance aux extrémités de l'émetteur en exploitant le gain de canal respectif des utilisateurs.

L'annulation des interférences successives (SIC) est alors appliquée au récepteur pour la détection et le décodage multi-utilisateurs. Pour un exemple, considérons une transmission NOMA de liaison descendante où la station de base (BS) programme m utilisateurs sur la même ressource spectrale B . Supposons également que le signal de message pour le $i^{\text{ème}}$ utilisateur est x_i , où $E[|x_i|^2] = 1$, et la puissance d'émission est p_i . Puis le signal superposé à l'extrémité de l'émetteur peut être exprimé comme suit:

$$X = \sum_{i=1}^m \sqrt{p_i} x_i \quad (II.1)$$

Où

$$\sum_{i=1}^m p_i \leq p_t$$

p_t : La puissance totale émise.

D'autre part, le signal reçu au $i^{\text{ème}}$ utilisateur peut être exprimé comme suit:

$$y_i = h_i X + N_{noise}, \quad \forall_i \quad (II.2)$$

Où h_i est le gain de canal complexe entre l'utilisateur i et le BS. Le terme ω_i désigne le bruit Gaussien du récepteur, y compris les interférences entre les cellules du récepteur de premier ordre de l'utilisateur [14].

II.4. Codage de superposition (SC) :

Le SC qui a été proposé pour la première fois dans est une technique de communication simultanée d'informations à plusieurs récepteurs par une seule source. En d'autres termes, il permet à l'émetteur de transmettre les informations de plusieurs utilisateurs en même temps. Des exemples de communications de manière superposée comprennent la diffusion d'un signal de télévision vers plusieurs récepteurs et le fait de donner un discours à un groupe de personnes ayant des antécédents et des aptitudes différents, comme une conférence dans une salle de classe. Supposons qu'un professeur donne des informations aux étudiants par le biais d'une conférence en classe. Puisqu'il existe des différences entre les qualités et les antécédents des étudiants, certains d'entre eux reçoivent la plupart des informations, tandis que d'autres n'en reçoivent que peu. La conférence peut être organisée de manière à se dérouler au rythme de l'élève dont le fond est le plus faible. Cependant, dans la situation idéale, le cours magistral peut être conçu de manière à ce que les étudiants ayant la formation la plus appropriée obtiennent plus d'informations et que les

étudiants pauvres obtiennent au moins le minimum d'informations. Cette situation est un exemple de chaîne de diffusion où une conférence superposée est donnée par l'orateur. Pour rendre SC pratique, l'émetteur doit encoder les informations pertinentes pour chaque utilisateur. Par exemple, pour un scénario à deux utilisateurs, l'émetteur devra contenir deux codeurs point à point qui mappent leurs entrées respectives à des séquences à valeurs complexes du signal à deux utilisateurs.

Afin de montrer comment SC est effectué, un diagramme schématique est donné sur la figure II.1, où la constellation de modulation par décalage de phase en quadrature (QPSK) de l'utilisateur 1 avec une puissance d'émission plus élevée est superposée à celle de l'utilisateur 2 avec une puissance d'émission plus faible. On peut mentionner que SC est un schéma non orthogonal reconnu qui atteint la capacité sur un canal de diffusion Gaussien scalaire. Dans l'auteur introduit de bonnes stratégies pour SC et proposé une technique de conception pour SC en utilisant des blocs de codage et de décodage standard pour un seul utilisateur. Dans la phase d'encodage de superposition, deux encodeurs point à point.[15]

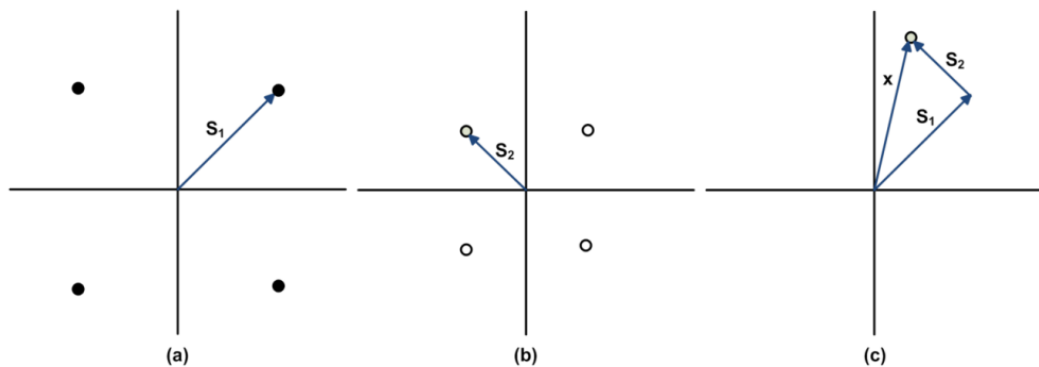


Figure II.1: Un exemple de codage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signal superposé.

II.5. Annulation des interférences successives (SIC) :

Pour décoder les informations superposées au niveau de chaque récepteur, la technique SIC est proposée. SIC est concevable en exploitant les spécifications sur les différences de puissance du signal entre les signaux d'intérêt. L'idée de base du SIC est que les signaux des utilisateurs sont successivement décodés. Une fois le signal d'un utilisateur décodé, il est soustrait du signal combiné avant le signal de l'utilisateur suivant est décodé. Lorsque SIC est appliqué, l'un des signaux d'utilisateur est décodé, traitant l'autre signal d'utilisateur comme un brouilleur, mais ce dernier est ensuite décodé au profit du signal du premier ayant déjà été supprimé. Cependant, avant SIC, les utilisateurs sont classés en fonction de la puissance de leur signal, de sorte que le récepteur puisse d'abord décoder le signal le plus fort, le soustraire du signal combiné et isoler le plus faible du résidu. Notez que chaque utilisateur est décodé en traitant les autres utilisateurs brouilleurs comme du bruit lors de la réception du signal. La figure II.2 présente la technique de décodage du signal superposé du côté de la réception. Ici, le point de constellation de l'utilisateur 1 est d'abord décodé à partir du signal reçu. Ensuite, le décodage du point de constellation de l'utilisateur 2 est effectué par rapport au point de constellation décodé de l'utilisateur 1 [15].

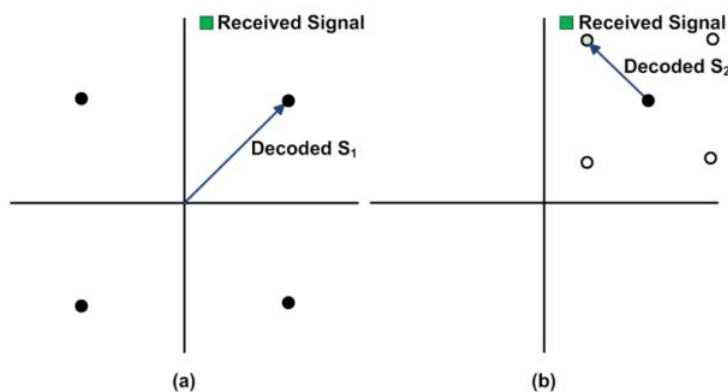


Figure II.2: Un exemple de décodage SC (a) décodant le signal de l'utilisateur 2 (b) décodant le signal de l'utilisateur 1

Acquérir une compréhension plus approfondie du fonctionnement de SIC :

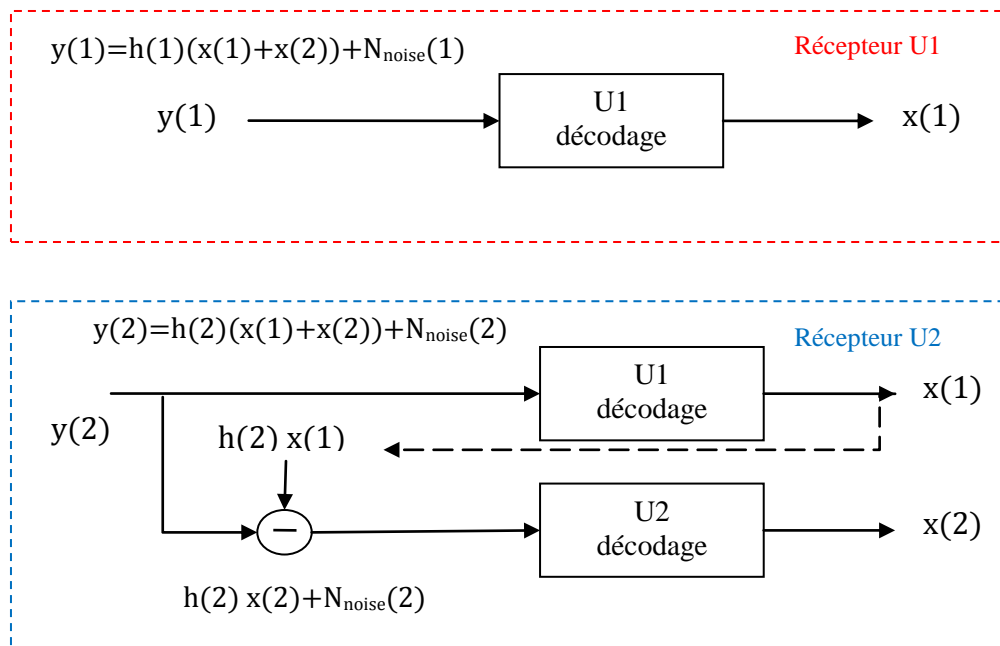


Figure II.3: Comment fonctionne SIC dans les récepteurs entre deux utilisateurs.

En utilisant l'exemple à deux utilisateurs illustré à la Figure II.3 et en supposant que les utilisateurs sont classés dans un ordre croissant en fonction de leurs gains de canal, l'utilisateur avec les pires conditions de canal (noté utilisateur 1) traite le signal de l'utilisateur avec le meilleur canal que le bruit et décode ses données à partir du signal reçu. D'autre part, l'utilisateur avec le meilleur canal (noté utilisateur 2) exécute SIC, car il décode d'abord les données de l'autre utilisateur, puis les annule du signal reçu. Le signal reçu à interférences supprimées est ensuite utilisé pour décoder les données pour cet utilisateur.

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

La figure II. 4 présente un système NOMA simple composé d'un seul BS et de deux utilisateurs, chacun équipé avec une seule antenne. Supposons que x_1 et x_2 sont les signaux à transmettre de la BS à utilisateurs 1 et 2, respectivement. La BS transmet le signal codé de superposition comme :

$$X = \sqrt{p_1}x_1 + \sqrt{p_2}x_2, \quad (II.3)$$

Où P_i , $i = 1, 2$, est la puissance d'émission de l'utilisateur i et le signal de message x_i , $i = 1, 2$, est de l'unité power, c'est-à-dire $E \{|x_i|^2\} = 1$, avec $E \{\cdot\}$ comme opérateur d'espérance. La puissance d'émission totale des utilisateurs 1 et 2 peuvent alors s'écrire $p = p_1 + p_2$. En pratique, pour un paramètre système particulier, p est prédéfinie et est donc divisée en p_1 et p_2 selon l'allocation de puissance adoptée (PA) schème. Le signal reçu à l'utilisateur i peut être représenté par :

$$y_i = h_i X + N_{noise}, \quad (II.4)$$

Où h_i est le gain de canal entre la BS et l'utilisateur i et w_i représente le bruit Gaussien s avec la densité spectrale de puissance N_f [16].

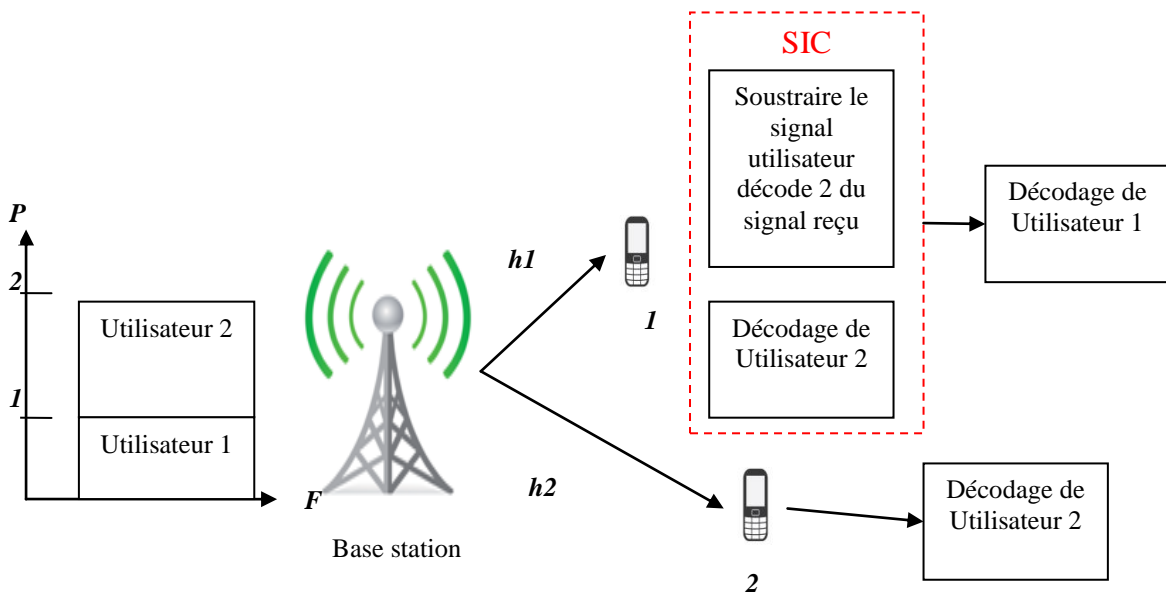


Figure II.4: liaison descendante NOMA pour 2 utilisateurs

II.7. Liaison montante NOMA (Up Link) :

La figure II.5 présente un schéma NOMA de liaison montante, où les utilisateurs 1 et 2 transmettent simultanément leur signaux x_1 et x_2 vers la BS. Le signal reçu à la BS est donné par :

$$y = \sum_{i=1}^2 \sqrt{p_i} h_i x_i + N_{noise}, \quad (II.5)$$

Où p_i est la puissance d'émission pour l'utilisateur i , avec $E \{|x_i|^2\} = 1$, et w représente le bruit Gaussien avec la densité spectrale de puissance N_f . En général, la BS diffuse un signal de référence sur la base duquel chaque utilisateur effectue une estimation de canal. Ainsi, ils peuvent régler leur puissance d'émission à p_1 ou p_2 , en fonction de leurs gains de canal. L'utilisateur 1 est à nouveau marqué comme l'utilisateur fort connaissant un gain de canal plus élevé par rapport à l'utilisateur 2, l'utilisateur faible. Lors de la réception du signal superposé, la BS exécute SIC pour séparer les signaux des utilisateurs [16].

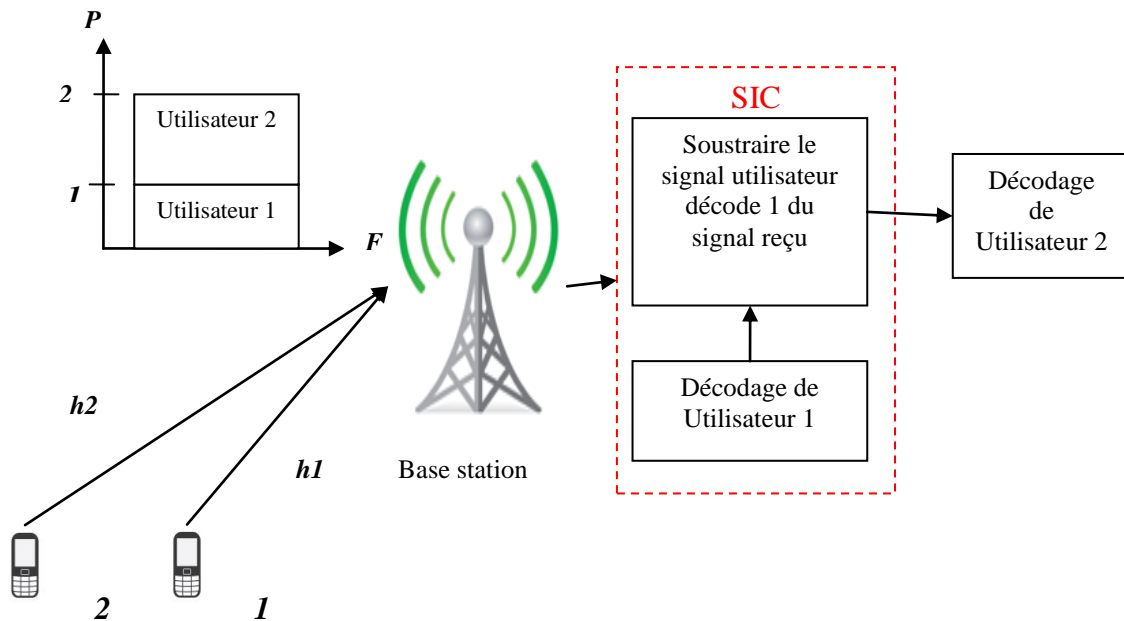


Figure II.5: Liaison montante NOMA pour 2 utilisateurs.

II.8. Efficacité spectrale et efficacité énergétique :

Dans cette section, nous introduisons les définitions de base de l'efficacité spectrale (SE) et efficacité énergétique (EE).

II.8.1. Efficacité spectrale:

L'amélioration de l'efficacité spectrale a été une recherche centrée et continue dans le domaine des communications sans fil depuis des décennies, en raison de la rareté et le cout des ressources spectrales.

L'efficacité spectrale quantifie le nombre de bits d'informations peuvent être fournis dans une unité de temps et de bande passante de système (bit/s/Hz). Par conséquent, sur la base de la célèbre formule atteinte par Shannon, le SE est défini comme :

$$SE = \log_2 \left(1 + \frac{p|h|^2}{\sigma^2} \right) (\text{bit/s/Hz}), \quad (II.6)$$

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

II.8.2. Efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique s'est imposée comme une nouvelle figure marquante et fondamentale du mérite pour les systèmes de communication sans fil. En général, EE se présente essentiellement sous la forme d'un rapport avantages-coûts pour évaluer la quantité de données livré en utilisant la ressource énergétique limitée du système (bits/Joule). L'EE est défini comme :

$$EE = \frac{W \cdot SE}{\delta p + PC} \quad (II.7)$$

Où PC désigne la consommation d'énergie du circuit statique associée aux communications et $\delta > 1$ capture l'inefficacité de l'amplificateur de puissance d'émission [17]. La bande passante (w).

II.9. Les applications:

- NOMA appliqué aux réseaux cellulaires.[18]
- NOMA appliqué aux communications D2D.[18]

- NOMA appliqué aux réseaux de capteurs sans fil. [18]
- NOMA dans les communications en lumière visible (VLC). [19]
- Réseaux NOMA cognitifs.[20]
- MIMO-NOMA cognitif.[20]
- NOMA cognitive multi-porteuse. [20]

II.10. Les avantages et les inconvénients :

II.10.1.Avantages de NOMA :

Voici les avantages de NOMA :

- Il offre une efficacité spectrale plus élevée en raison de l'utilisation de plusieurs utilisateurs sur la même ressource de fréquence.
- Il offre une connectivité massive en servant plus d'utilisations simultanément en même temps.
- Il offre une latence plus faible en raison de la transmission simultanée tout le temps plutôt que d'un créneau horaire programmé dédié.
- Il offre une meilleure QoS (Quality of Service) à tous les utilisateurs en utilisant des algorithmes de contrôle de puissance flexibles. Il aide à augmenter le débit de bord de cellule et une meilleure expérience utilisateur aux bords de cellule.
- Le NOMA avec MIMO offre des performances améliorées [21].

II.10.2.Inconvénients de NOMA :

Voici les inconvénients de NOMA:

- Chacun des utilisateurs du cluster doit décoder les informations de tous les autres utilisateurs, même ceux ayant les pires gains de canaux. Cela

conduit à une complexité dans le récepteur. De plus, la consommation d'énergie est plus élevée.

- Si une erreur se produit chez un seul utilisateur en raison de SIC, le décodage de toutes les informations des autres utilisateurs sera erroné. Cela limite le nombre maximum d'utilisateurs à desservir par chacun des clusters de la cellule.
- Afin d'obtenir les fonctionnalités souhaitées du concept de domaine de puissance dans NOMA au niveau du récepteur, la différence de gain de canal entre les utilisateurs doit être adéquate. Cela limite le nombre effectif de paires d'utilisateurs servies par les clusters.
- Chaque utilisateur doit fournir des informations de gain de canal à la station de base en tant que rétroaction et, par conséquent, NOMA est suffisamment sensible pour obtenir ces mesures [21].

II.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté le concept et les technologies clés de NOMA, qui constituent l'une des technologies les plus prometteuses pour les futurs systèmes de communication. Son gain de diversité provient du champ de puissance des signaux qui sont transmis dans une superposition, en utilisant la liaison descendante ou montante. La vérification des performances de NOMA par rapport OMA fait l'objectif du prochain chapitre.



Chapitre III:
Simulation et Résultats

III.1. Introduction :

Dans ce présent chapitre, nous présentons les résultats de comparaison entre les performances des systèmes NOMA et OMA. Nous présentons d'abord le modèle de simulation. Ensuite, nous présentons les résultats de simulation en termes de capacité, de probabilité de panne et de probabilité d'erreur (BER). Les simulations informatiques sont faites par le logiciel MATLAB.

III.2. Modèle de Simulation :

Nous supposons que la station de base envoie (BS) deux messages, un à l'utilisateur distant et le second à l'utilisateur proche (où l'utilisateur 2 est proche et l'utilisateur 1 est loin de la BS). BPSK est la modulation utilisée pour les deux utilisateurs.

Dans OMA, les messages seront envoyés à des utilisateurs consécutifs avec un décalage temporel différent. Le signal reçu par les utilisateurs est exprimé comme suit :

$$y_i = \sqrt{P_s} s_i h_i + N_{noise} \quad (\text{III. 1})$$

$$i = 1, 2$$

Le SNR est exprimé aux utilisateurs comme suit :

$$SNR_{oma,i} = \frac{P_s |h_i|^2}{\sigma_i^2} \quad (\text{III. 2})$$

Et dans NOMA, la station envoie un message de codage en superposition avec une distribution différente des paramètres de puissance en fonction de la qualité du canal pour chaque utilisateur. Le signal reçu par les utilisateurs est exprimé comme suit :

$$y_i = (\sqrt{P_s \alpha_1} s_1 + \sqrt{P_s \alpha_2} s_2) h_i + N_{noise} \quad (\text{III. 3})$$

$$i = 1, 2$$

α_i : coefficient de puissance utilisateur

Le SNR est exprimé aux utilisateurs comme suit :

$$SNR_{noma,1} = \frac{P_s \alpha_1 |h_1|^2}{P_s \alpha_2 |h_1|^2 + \sigma_1^2} \quad (III.4)$$

$$SNR_{noma,2} = \frac{P_s \alpha_2 |h_2|^2}{\sigma_2^2} \quad (III.5)$$

- En OMA

La simulation OMA est basée sur le schéma suivant :

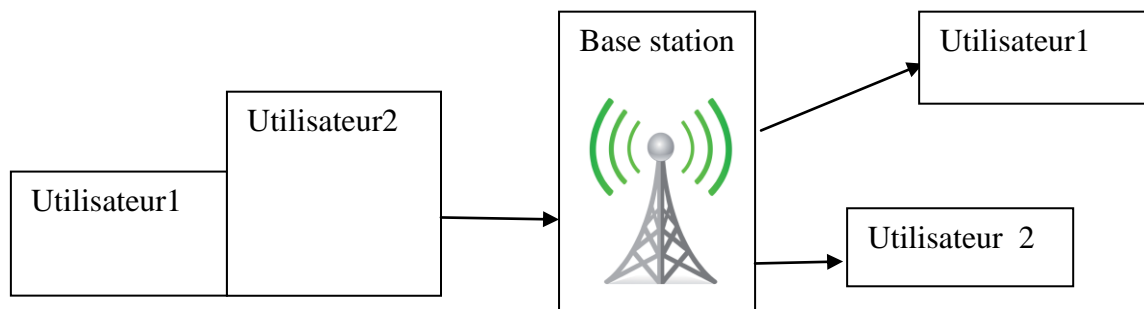


Figure III.1: Schéma de deux utilisateurs OMA

- Dans NOMA

Notre simulation est basée sur le schéma suivant :

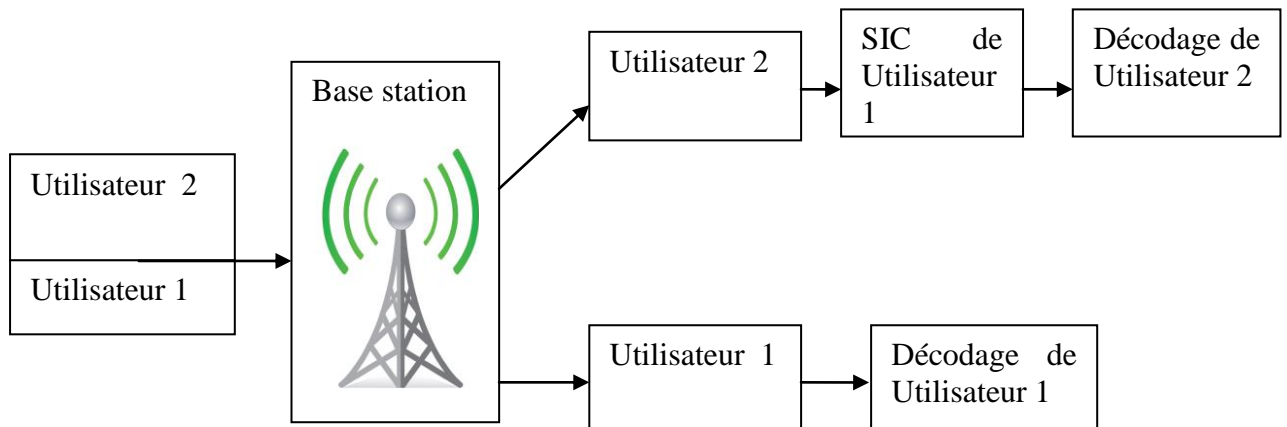


Figure III.2: Schéma de deux utilisateurs NOMA

III.3.Paramètres de Simulation :

Le tableau (III.1) présente les paramètres utilisés dans les simulations :

Paramètres	Valeurs
D1 = distance entre BS et utilisateur 1	2 m
D2 = distance entre BS et utilisateur 2	1 m
Exposant de perte de chemin	4
SNR en dBm	0:5:40
Coefficient de puissance utilisateur 1	$\alpha_1=0.75$
Coefficient de puissance utilisateur 2	$\alpha_2=0.25$
Taux de transmission	R = 1 bps/Hz
Modulation de l'utilisateur 1	BPSK
Modulation de l'utilisateur 2	BPSK
Canal	Rayleigh

Tableau III.1: Paramètres utilisés dans la simulation

III.4. Analyse de Capacité :

La capacité des utilisateurs d'OMA et NOMA est exprimée comme suit:

$$C_{oma,i} = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR_{oma,i}) \quad (\text{III. 6})$$

$$C_{noma,i} = \log_2(1 + SNR_{noma,i}) \quad (\text{III. 7})$$

La figure III.1 illustre la comparaison entre les capacités des deux utilisateurs des systèmes NOMA et OMA en fonction de SNR. Pour NOMA, on observe que la valeur de la capacité pour l'utilisateur 1 augmente lentement, puis se stabilise à partir du SNR=30 dBm. Alors que la capacité de l'utilisateur 2 augmente avec l'augmentation de SNR. On note également que la capacité de l'utilisateur 2 est meilleure que celle de l'utilisateur 1. Concernant OMA, on constate que la capacité des deux utilisateurs augmente avec l'augmentation de SNR et on remarque aussi la supériorité de l'utilisateur 2 sur l'utilisateur 1.

On note que la capacité de l'utilisateur 2 en NOMA est meilleure que celle d'OMA, et vice versa pour l'utilisateur 1, où la capacité à OMA est meilleure.

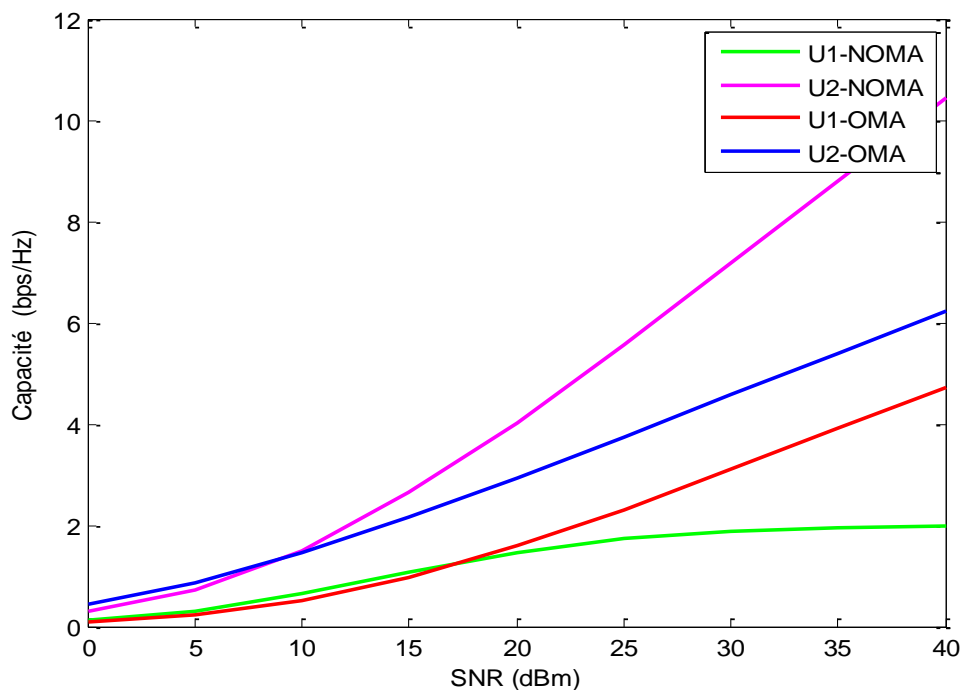


Figure III.3 : La capacité réalisable de 2 utilisateurs NOMA et OMA.

Pour calculer la capacité totale du système OMA et NOMA, on utilise les équations suivantes:

$$somme_{oma} = C_{oma,1} + C_{oma,2} \quad (III. 8)$$

$$somme_{noma} = C_{noma,1} + C_{noma,2} \quad (III. 9)$$

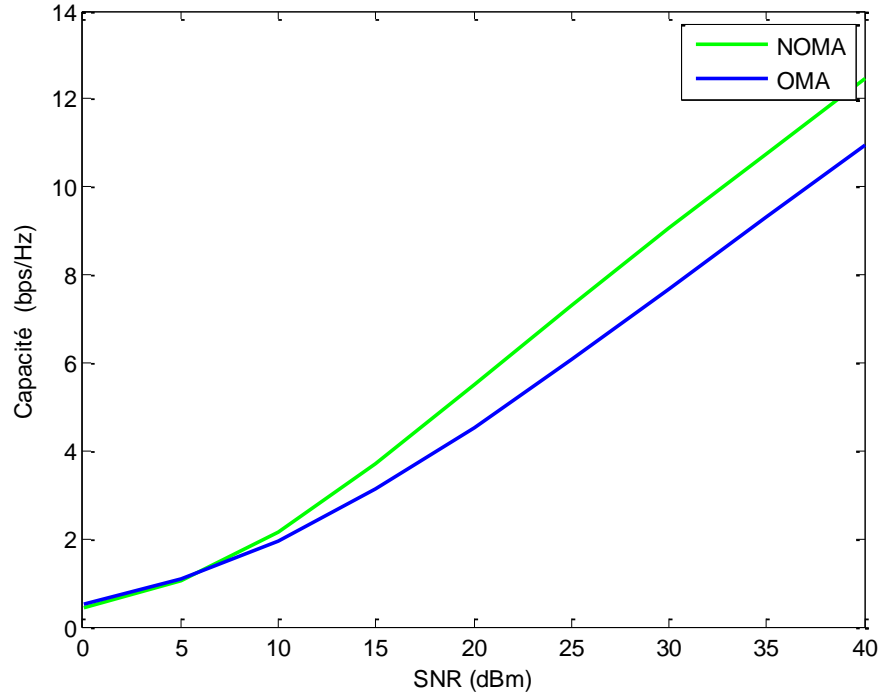


Figure III.4 : La capacité des deux systèmes OMA et NOMA.

La figure III.4 illustre une comparaison entre les capacités totales de NOMA et OMA en fonction de SNR. On note que la capacité augmente en NOMA et OMA avec l'augmentation du SNR et celle de NOMA surpasse celle d'OMA.

III.5. Analyse de probabilité de panne (Outage Probability) :

La probabilité de panne de système OMA est exprimée par :

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + SNR_{oma,i}) < R \quad (III. 10)$$

$$SNR_{oma,i} < 2^{2R} - 1 \quad (III. 11)$$

$$\begin{aligned}
 P_{out,oma,i} &= P\left(\frac{1}{2}\log_2(1 + SNR_{oma,i}) < R\right) \\
 &= P(SNR_{oma,i} < 2^{2R} - 1) \quad (III.12)
 \end{aligned}$$

La probabilité de panne de système NOMA est exprimée par :

$$\log_2(1 + SNR_{noma,i}) < R \quad (III.13)$$

$$SNR_{noma,i} < 2^R - 1 \quad (III.14)$$

$$\begin{aligned}
 P_{out,noma,i} &= P(\log_2(1 + SNR_{noma,i}) < R) \\
 &= P(SNR_{noma,i} < 2^R - 1) \quad (III.15)
 \end{aligned}$$

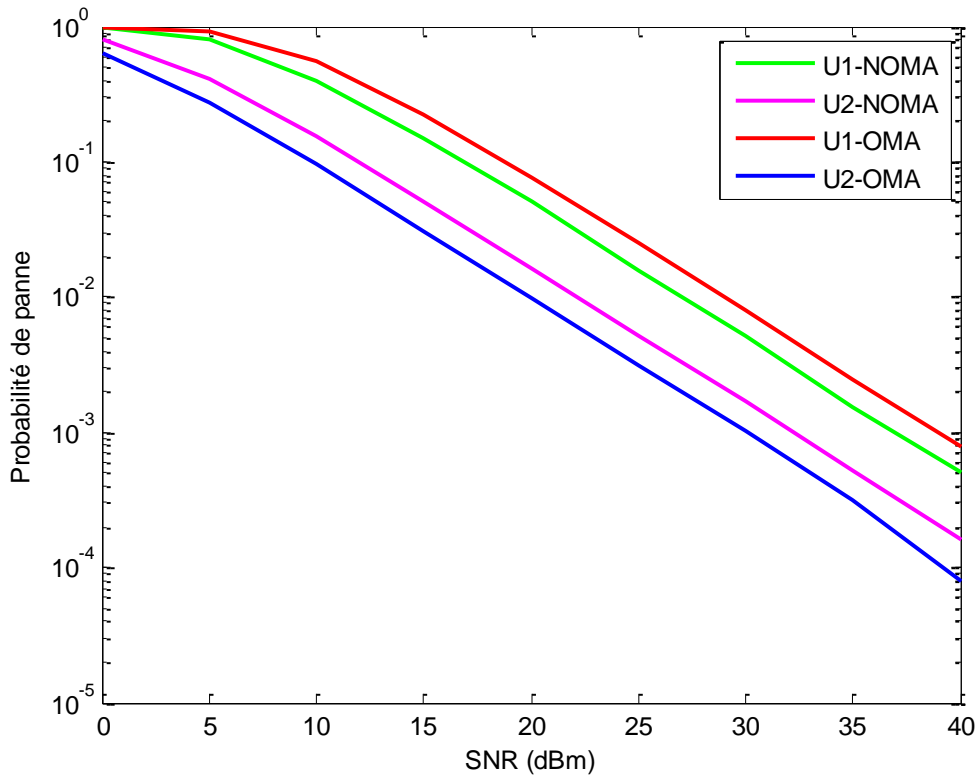


Figure III.5: La probabilité de panne des utilisateurs de NOMA et OMA.

La figure III.5 montre une comparaison de la probabilité de panne des deux utilisateurs des systèmes NOMA et OMA en fonction de SNR. Nous notons que la probabilité de panne diminue avec l'augmentation des valeurs de transmission SNR pour tous les résultats. Pour NOMA, la probabilité de panne d'utilisateur 2 est inférieure à la probabilité de panne de l'utilisateur 1. Pour OMA, il est également noté que la probabilité de panne de l'utilisateur 2 est inférieure à la probabilité de panne de l'utilisateur 1. Par la comparaison entre NOMA et OMA, nous notons que la probabilité de panne de l'utilisateur 1 dans NOMA est inférieure à la probabilité de panne de l'utilisateur 1 dans OMA. De plus, nous notons que la probabilité de panne de l'utilisateur 2 dans NOMA est plus élevée que la probabilité de panne de l'utilisateur 2 dans OMA.

Par conséquent, nous pouvons exprimer la probabilité de panne totale du système OMA comme :

$$P_{out,oma} = P_{out,oma,1}P_{out,oma,2} \quad (\text{III. 16})$$

De plus, la probabilité de panne du système NOMA est exprimée comme suit :

$$P_{out,noma} = P_{out,noma,1}P_{out,noma,2} \quad (\text{III. 17})$$

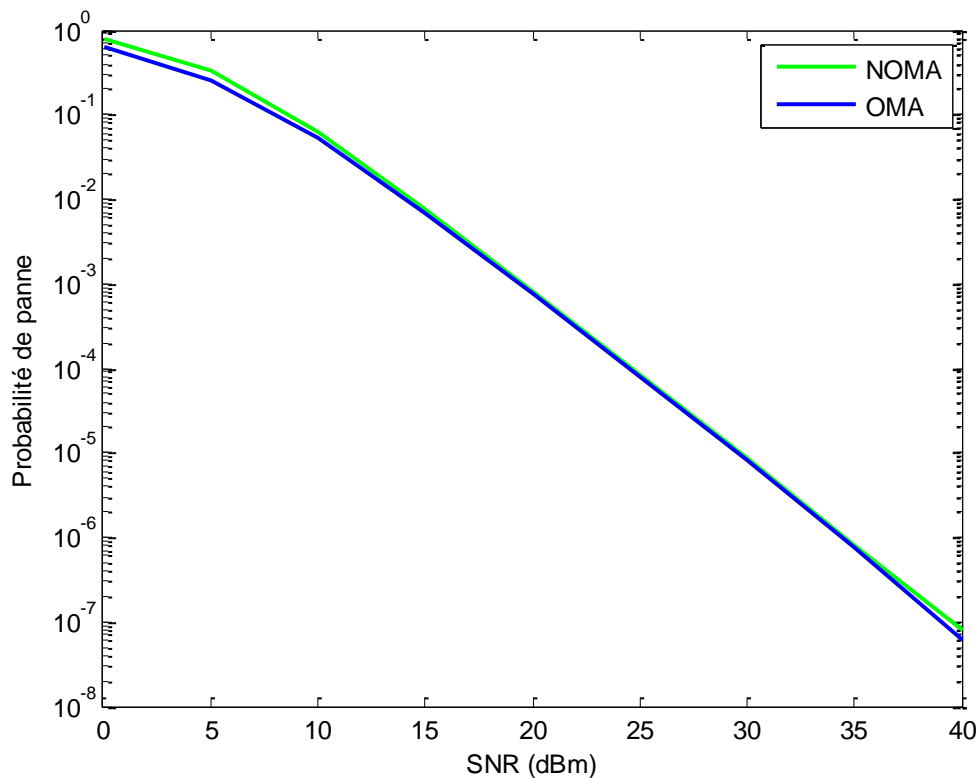


Figure III.6 : La probabilité de panne des systèmes NOMA et OMA.

La figure III.6 illustre la comparaison entre les probabilités de panne de NOMA et OMA en fonction de SNR. Nous constatons que la probabilité de panne diminue en NOMA et OMA avec l'augmentation du SNR. Nous notons également que la probabilité de panne NOMA est relativement identique à celle d'OMA système.

III.6. Analyse de BER :

Dans cette sous partie, nous présentons les résultats de simulation de la probabilité d'erreur pour NOMA et OMA.

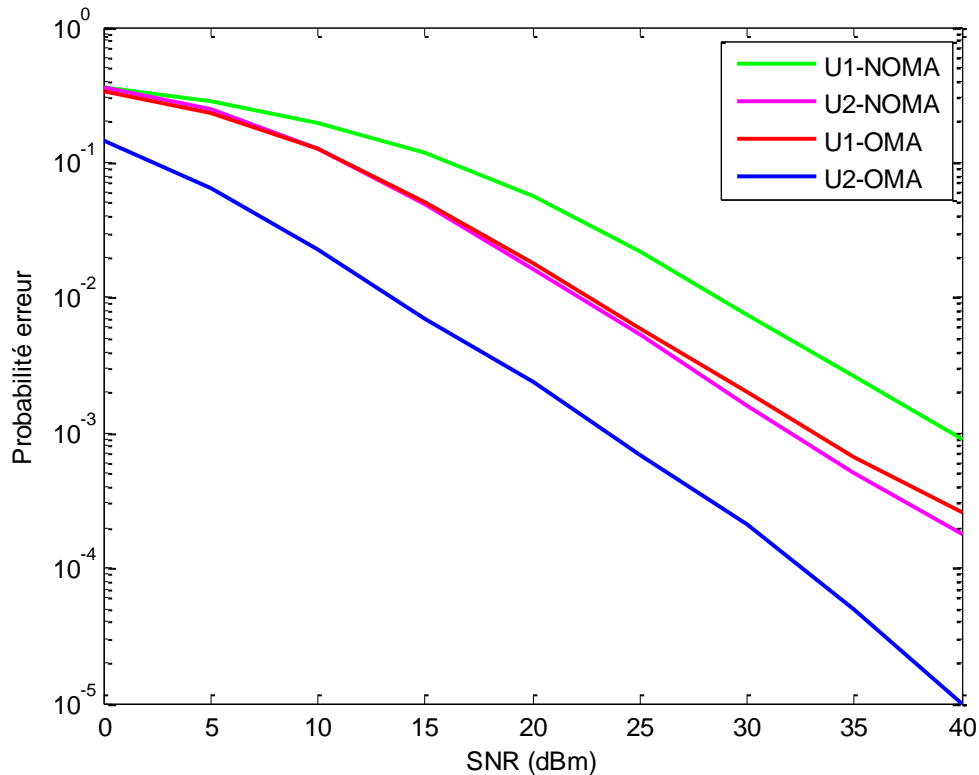


Figure III.7 : La probabilité d'erreur des utilisateurs NOMA et OMA

La figure III.7 montre une comparaison de la probabilité d'erreur des deux utilisateurs des systèmes NOMA et OMA en fonction de SNR. En ce qui concerne NOMA et OMA, nous notons que la probabilité d'erreur diminue avec l'augmentation de SNR pour tous les résultats. Notez que la probabilité d'erreur dans NOMA pour les deux utilisateurs est plus élevée que la probabilité d'erreur pour les deux utilisateurs dans le cas d'OMA.

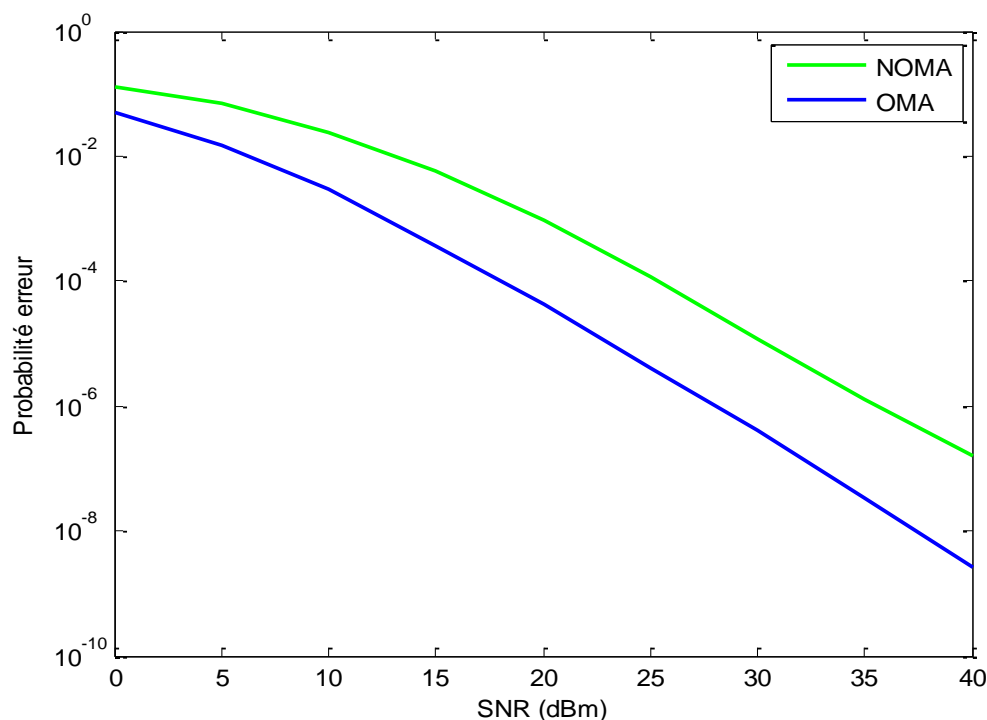


Figure III.8 : La probabilité d'erreur des systèmes NOMA et OMA.

La figure III.8 montre la comparaison de probabilité d'erreur entre les systèmes NOMA et OMA en fonction de SNR. Nous Notons que la probabilité d'erreur diminue en NOMA et OMA avec l'augmentation du SNR envoyé. Notez également que la probabilité d'erreur de système OMA est inférieure à celle de système NOMA.

III.7.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons comparé les performances des systèmes NOMA et OMA. Premièrement nous avons présenté le modèle de simulation et la comparaison entre les capacités NOMA et OMA. Ensuite, nous avons comparé les performances de NOMA et OMA en termes de probabilité de panne et de probabilité d'erreur. Les résultats obtenus ont montré la supériorité du système NOMA en termes de capacité, ainsi que la probabilité de panne de l'utilisateur loin NOMA est plus faible que celle de l'utilisateur proche. D'autre part, la probabilité de panne des deux systèmes OMA et NOMA est identique. Tandis que la probabilité d'erreur de NOMA est plus élevée par rapport à OMA.

The background features a central rectangular area with a white background and a thin gold border. This area is surrounded by a collage of various green leaves and branches, some in grayscale and some in color. The entire composition is set against a light gray and white marble pattern.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'accès radio est la technologie clé des communications sans fil. Récemment, l'accès multiple non orthogonal (NOMA) a été introduit comme technologie d'accès prometteuse pour les futurs systèmes de communications mobiles. Contrairement à l'accès multiple orthogonal (OMA), NOMA offre une efficacité spectrale et une équité utilisateur améliorées en desservant chaque NOMA en utilisant la même ressource fréquence / temps / code. NOMA a déjà été adopté pour l'évolution à long terme du 3GPP avec le nom de transmission par superposition d'utilisateurs multiples (MUST). Le domaine de puissance NOMA est le type le plus populaire de NOMA, où un émetteur envoie des messages superposés à plusieurs récepteurs NOMA avec différents niveaux de puissance en fonction de la priorité des utilisateurs ou de la qualité de la chaîne. Du côté récepteur, On sait que NOMA implique une annulation d'interférence successive (SIC), où un utilisateur décode le message de l'autre utilisateur, à partir du signal reçu codé par superposition, avant de décoder son propre message. Plus précisément, l'utilisateur proche décode les informations de l'utilisateur distant lors de l'exécution du SIC. L'utilisateur proche doit de toute façon décoder les données de l'utilisateur distant.

L'objectif de ce mémoire était d'analyser par comparaison les performances de NOMA et OMA en termes de capacité, de probabilité de panne et de taux d'erreur.

Dans ce mémoire nous avons présenté au début une étude de la technologie 5G. Ensuite nous avons étudié la technique NOMA dans la liaison montante et descendante. Nous avons également présenté les équations de transmission ainsi que les avantages et les inconvénients de NOMA. Finalement, nous avons analysé les performances du système NOMA. L'objectif était d'analyser et de comparer les performances de NOMA par rapport OMA en termes de capacité,

de probabilité de panne et de taux d'erreur. Les résultats obtenus lors de cette analyse et simulation ont montré que les performances du NOMA dépassent celles du d'OMA en termes de capacité et de probabilité de panne. Par contre, OMA dépasse NOMA en termes de taux d'erreur. Par conséquent, nous concluons que NOMA est meilleur par rapport OMA en termes de débit, capacité et robustesse de la communication.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] Prinima and J. Pruthi, "Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 5G," *Int. J. Innov. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 224–227, 2016, [Online]. Available: http://www.ijircce.com/upload/2016/etiete/37_prinima.pdf.
- [2] Guillaume Belfiore , 5G - Réseau 5G, Futura Tech - Futura-Sciences, <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-5g-17101/> .
- [3] La 5G, <https://radio-waves.orange.com/fr/reseaux-et-antennes/5g/>
- [4] D. Gale, "5G Americas|understanding millimeter wave spectrum for 5g networks," pp. 1–52, 2020.
- [5] Safi Khan.' The Backbone of 5G Networks: A Guide to Small Cell Technology'. Telit, 12 mars 2020, <https://www.telit.com/blog/5g-networks-guide-to-small-cell-technology/>
- [6] Erik G. Larsson, Emil Björnson, 'What is Massive MIMO?'. Wireless future news-commentary-mythbusting. <https://ma-mimo.ellintech.se/what-is-massive-mimo/>
- [7] Sue Marek, Why.' full duplex technology is suddenly hot in 5G'. lightreading. 17/11/2020. <https://www.lightreading.com/opticalip/why-full-duplex-technology-is-suddenly-hot-in-5g/d/d-id/765522>
- [8] Amy Nordrum, Kristen Clark, et IEEE Spectrum.' Staff,5g bytes full duplex explained', 01 Apr 2017-19:21 GMT. <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-full-duplex-explained>
- [9] C. Engineering, Academic Press Library in Signal Processing, Volume 7. 2018.

- [10] M. Wen, X. Cheng, and L. Yang, *Index Modulation for 5G Wireless Communications*. 2017.
- [11] M. Léonie Elsa, *etude de la modulation gfdm et de la technique d'accès nomad du réseau 5g*, université d'Antananarivo, école supérieure polytechnique, Soutenu le Mardi 28 Mars 2017.
- [12] M. Vaezi, Z. Ding, and H. Vincent Poor, *Multiple access techniques for 5G wireless networks and beyond*. 2018.
- [13] R. C. Kizilirmak, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for 5G Networks," *Toward 5G Wirel. Networks - A Phys. Layer Perspect.*, 2016, doi: 10.5772/66048.
- [14] M. S. Ali, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Wireless Communications," University of Manitoba, 2017.
- [15] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2621116.
- [16] S. M. Riazul Islam, M. Zeng, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, "Non-orthogonal multiple access (NOMA): How it meets 5g and beyond," *arXiv*, 2019, doi: 10.1002/9781119471509.w5gref032.
- [17] Z. Wei, "Performance Analysis and Design of Non-orthogonal Multiple Access for Wireless Communications," The University of New South Wales, 2019.
- [18] A. Anwar, B. C. Seet, M. A. Hasan, and X. J. Li, "A survey on application of non-orthogonal multiple access to different wireless networks," *Electron.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–46, 2019, doi: 10.3390/electronics8111355.

[19] S. Naser et al., “Rate-Splitting Multiple Access: Unifying NOMA and SDMA in MISO VLC Channels,” *IEEE Open J. Veh. Technol.*, vol. 1, pp. 393–413, 2020, doi: 10.1109/ojvt.2020.3031656.

[20] L. Lv, J. Chen, Q. Ni, Z. Ding, and H. Jiang, “Cognitive Non-Orthogonal Multiple Access with Cooperative Relaying: A New Wireless Frontier for 5G Spectrum Sharing,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 4, pp. 188–195, 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700687.

[21] Advantages of NOMA | Disadvantages of NOMA | Non-Orthogonal Multiple Access, RF Wireless World, <https://www.rfwirelessworld.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-NOMA.html>

Résumé:

La nouvelle génération de réseaux de téléphonie mobile 5G et au delà devrait répondre à de nombreuses exigences telles qu'une vitesse de transmission de données élevée, un temps de transmission court et la prise en charge d'un grand nombre d'appareils. L'objectif de ce mémoire est d'étudier et d'analyser les performances de la technologie d'accès multiple non orthogonale (NOMA) utilisée pour surmonter les inconvénients de la technologie d'accès multiple orthogonale (OMA) afin de répondre aux exigences des nouvelles générations. Dans ce travail, nous commençons par les exigences de la cinquième génération (5G). Ensuite, nous abordons la technologie d'accès multiple non orthogonale (NOMA). Enfin, une comparaison par simulation MATLAB est faite entre OMA et NOMA en termes de capacité, probabilité de panne et taux d'erreur. Les résultats obtenus montrent l'utilité de NOMA pour satisfaire les exigences des nouvelles générations.

Mots clés: Cinquième génération (5G), accès multiple non orthogonale (NOMA), accès multiple orthogonale (OMA), réseau mobile, capacité, BER, probabilité de panne.

Abstract :

The new generation of mobile phone networks and beyond are expected to meet many requirements such as high data transmission speed, short transmission time, and support for a large number of devices. The objective of this dissertation is to study and analyze the performance of non-orthogonal multiple access (NOMA) technology used to overcome the drawbacks of orthogonal multiple access (OMA) technology in order to meet the requirements of new generations. In this work, we start with the requirements of the fifth generation (5G). Next, we discuss the non orthogonal multiple access (NOMA) technology. Finally, a MATLAB simulation comparison is made between OMA and NOMA in terms of capacity, outage probability and error rate. The results obtained show the usefulness of NOMA in meeting the demands of new generations.

Key Words: Fifth Generation (5G), Non-orthogonal Multiple Access (NOMA), Orthogonal Multiple Access (OMA), Mobile Network, capacity, BER, Outage probability.

ملخص:

من المتوقع أن يلبي الجيل الجديد من شبكات الهاتف المحمول وما بعدها العديد من المتطلبات مثل سرعة نقل البيانات العالية وقصر وقت الإرسال ودعم عدد كبير من الأجهزة. الهدف من هذه الرسالة هو دراسة وتحليل أداء تقنية الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) المستخدمة للتغلب على عيوب تقنية الوصول المتعدد المتعامد (OMA) من أجل تلبية متطلبات الأجيال الجديدة. في هذا العمل نبدأ بمتطلبات الجيل الخامس (5G). بعد ذلك، نناقش تقنية الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA). أخيرًا، تم إجراء مقارنة محاكاة MATLAB بين OMA و NOMA من حيث السعة واحتمال الانقطاع ومعدل الخطأ. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها فائدة NOMA في تلبية متطلبات الأجيال الجديدة.

الكلمات المفتاحية: الجيل الخامس (5G)، الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA)، الوصول المتعدد المتعامد (OMA)، شبكة الهاتف المحمول، السعة، معدل الخطأ، احتمالية الانقطاع.