



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Département de génie électrique
Réseaux et télécommunication

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Chenafi adel / Kabouche sif elislam

Le : juin 2025

L'application du NOMA et beamforming dans les réseaux 5G

Jury :

Ms	Barkat Aicha	MAA	Université biskra	Président
MS	Hamaizia Zahra	Professeur	Université biskra	Examineur
Ms	Hendaoui Mounira	MCB	Université biskra	Encadreur



Année universitaire : 2025

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Département de génie électrique
Réseaux et télécommunication

Réf. : Entrez la référence du document

L'application du NOMA et du beamforming dans les réseaux 5G

Le :

Présenté par : **Chenafi adel / Kabouche sif elislam**

Avis favorable de l'encadreur :

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciements

C'est avec un très grand honneur que nous réservons cette page en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Nos remerciements vont plus particulièrement à notre encadreur **Ms. Hendoui Monira** pour son aide consistante, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives.

Nous tenons à remercier nos famille de nous avoir soutenu, nous ne serons jamais assez reconnaissants envers nos parents qui ont toujours tout mis en œuvre pour qu'on s'épanouisse dans tous ce qu'on entreprend.

Enfin, nous remercions tous nos enseignants de l'université de Université Mohamed Khider de Biskra pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont bien voulu prodiguer durant nos études et aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Chenafi & Kabouche

Dédicace

*Nous remercions dieu qui nous a donné Le courage et la volante De
poursuivremes étude, Je dédie ce travail*

*A ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne d'amour, son amour a fait de
moi ce que je suis aujourd'hui :*

*Particulièrementa mes parents Mon père ibrahim qui a tous sacrifie pour mon
bien et qui ma éclaire ma route par sa compréhension et son soutien*

*A ma mère nadjat et hanan qui m'a soutenu et encourage durant ces années
d'étude qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance*

*A mes frères Khaled, Riadh, Said, qui ont partages avec moi tous les moments
d'émotion lors de tous mon parcours*

*A mes sœurs Houda, Chahinez , badra qui ont un exemple d'encouragement et
d'aide*

Merci à toutes les personnes qui m'ont aides

A toute ma famille, mes proches

Chenafi Adel

Dédicace

Nous remercions Dieu de nous avoir accordé la réussite et de m'avoir permis de poursuivre mes études grâce à sa puissance.

Je dédie ce travail à ma famille, qui m'a donné une éducation pleine d'amour. Leur amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui, en particulier à mon père. Il a tout sacrifié pour moi et il illumine mon chemin par sa compréhension et son soutien.

À ma mère, qui m'a soutenu et encouragé pendant ces années d'études, j'espère que vous trouverez ici un témoignage de ma profonde gratitude.

À mon frère, Ammar Yasser, je souhaite que tu excelles dans tes études et que tu atteignes le meilleur niveau que j'ai atteint.

À mes sœurs, Khawla et Shaima, qui sont un exemple d'encouragement et de soutien. Je demande à Dieu de t'accorder santé et bien-être. Merci à tous ceux qui m'ont aidé. À toute ma famille et à tous mes proches.

Kabouche sif elislam

Abstract:

Over the years, the demand for wireless networks for various applications and sectors has increased significantly, leading to the emergence of fifth-generation (5G) networks.

This memorandum aims to highlight an innovative multiple access technology, intended to increase the number of users, improve spectral and energy efficiency, as well as achieve high data transfer rates. We propose a study of non-orthogonal multiple access (NOMA) technology, which allows multiple users or devices to simultaneously share the same spectrum and time slot by allocating specific power to each user. This technology is combined with beamforming, which focuses the signal towards one or more users to reduce interference between them.

The objective of this work is to study the performance of the combination of these two technologies and apply them to 3GPP TR 38.901 channel models for 5G networks, particularly for millimeter wave (mmWave) frequencies and sub-6 GHz bands used in 5G. This model is used to simulate and evaluate the performance of 5G systems in different environments (urban, rural, indoor, etc.). Our results show that the joint application of NOMA and beamforming technologies largely optimizes the performance of 5G networks.

Keywords :

5G ; NOMA ; OMA (OFDMA) ; beamforming ; 3GPP TR 38.901

Résumé :

Au fil des ans, la demande en réseaux sans fil pour diverses applications et secteurs a considérablement augmenté, conduisant à l'émergence des réseaux de cinquième génération (5G).

Ce mémorandum vise à mettre en lumière une technologie d'accès multiple innovante, destinée à augmenter le nombre d'utilisateurs, à améliorer l'efficacité spectrale et énergétique, ainsi qu'à atteindre des débits de transfert de données élevés. Nous proposons une étude de la technologie d'accès multiple non orthogonal (NOMA), qui permet à plusieurs utilisateurs ou appareils de partager simultanément le même spectre et la même plage temporelle en allouant une puissance spécifique à chaque utilisateur. Cette technologie est combinée avec le beamforming, qui concentre le signal vers un ou plusieurs utilisateurs afin de réduire les interférences entre eux.

L'objectif de ce travail est d'étudier les performances de la combinaison de ces deux technologies et de les appliquer aux modèles de canaux 3GPP TR 38.901 pour les réseaux 5G, notamment pour les fréquences millimétriques (mmWave) et les bandes sub-6 GHz utilisées en 5G. Ce modèle est utilisé pour simuler et évaluer les performances des systèmes 5G dans différents environnements (urbain, rural, intérieur, etc.). Nos résultats montrent que l'application conjointe des technologies NOMA et beamforming optimise largement les performances des réseaux 5G.

Mots-clés :

5G ; NOMA ; OFDMA ; beamforming ; 3GPP TR 38.901

ملخص:

على مر السنين، ازداد الطلب على الشبكات اللاسلكية لمختلف التطبيقات والقطاعات بشكل ملحوظ، مما أدى إلى ظهور شبكات الجيل الخامس (5G).

تهدف هذه المذكرة إلى تسليط الضوء على تقنية مبتكرة للوصول المتعدد، تهدف إلى زيادة عدد المستخدمين، وتحسين كفاءة الطيف والطاقة، بالإضافة إلى تحقيق معدلات نقل بيانات عالية. نقترح دراسة تقنية الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA)، التي تسمح لعدة مستخدمين أو أجهزة بمشاركة نفس الطيف والفترة الزمنية في وقت واحد من خلال تخصيص طاقة محددة لكل مستخدم. تتكامل هذه التقنية مع تقنية تشكيل الحزمة، التي تركز الإشارة نحو مستخدم واحد أو أكثر لتقليل التداخل بينهم.

يهدف هذا العمل إلى دراسة أداء الجمع بين هاتين التقنيتين وتطبيقها على نماذج قناة 3GPP TR 38.901 لشبكات الجيل الخامس، وخاصةً لترددات الموجات المليمترية (mmWave) ونطاقات التردد دون 6 جيجاهرتز المستخدمة في الجيل الخامس. يُستخدم هذا النموذج لمحاكاة وتقييم أداء أنظمة الجيل الخامس في بيئات مختلفة (حضرية، ريفية، داخلية، إلخ). تظهر نتائجنا أن التطبيق المشترك لتقنيات NOMA وتشكيل الحزمة يحسن إلى حد كبير أداء شبكات الجيل الخامس.

الكلمات المفتاحية :

5G ; NOMA ; OMA (OFDMA) ; beamforming ; 3GPP TR 38.901

Table des matières

Introduction Générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre 1 :Généralités sur les réseaux 5G

I.1 Introduction générale sur 5G.....	3
I.2 l'évolution des réseaux mobiles vers la 5G :	3
I.2.1 La première génération - 1G :.....	3
I.2.2 La deuxième génération -2G :	4
I.2.3 La troisième génération – 3G	4
I.2.4 La quatrième génération – 4G	4
1.2.5 La cinquième génération 5G :	5
I.3. l'objectif du 5G :	5
I.4. Architecture de la technologie 5G :	8
I.4.1. Nouvel génération réseaux d'accès (NG-RAN).....	8
I.14.2 5G Réseau central (5GC) :	9
I.5. Spectre pour 5G	10
I.6 Les éléments constituant le réseau 5G sont :.....	11
I.7.. Les fréquences attribuées à la 5G :.....	14
I.8. La transmission dans le réseau 5G	15
I.9. Les technologies envisagées par le réseau 5G	15
I.9.1 Le système massive MIMO :	16
I.9.2 Communication par onde mmWave :	16
I.9.3 Principe de l'accès multiple non orthogonal (NOMA) :	17
I.9.4 Le beamforming	17
I.10 Conclusion	18

Chapitre 2 : NOMA BEAMFORMING DANS LA 5G

II.1 Introduction :	20
II.2 Principe de fonctionnement de NOMA :	20
II.2.1 NOMA dans le domaine de code	21
II.2.2 NOMA dans le domaine de puissance (PD-NOMA) :	21
II.2.3 Modèle de Système Proposé sur NOMA :	22

II.2.4 - Paramètres d'évaluation et état de la normalisation :.....	23
II.2.5 - Domaines de puissance NOMA :.....	24
II.2.6 Domaines de code NOMA :.....	25
II.2.7 Avantages du NOMA	28
II.2.8. Limites du NOMA :	26
II.2.9 Comparaison entre NOMA et OMA :.....	26
II.2.beamforming :.....	27
III.2.1. Les types du beamforming :.....	28
III.2.1.1. beamforming analogique :.....	28
III.2.1.2. beamforming numérique :.....	28
III.2.1.3 beamforming hybride :.....	28
III.2.2. Les avantages du beamforming :.....	29
II.3. Conclusion :	32
Chapitre 3 : Simulation et résultats	
III.1. Introduction :	34
III.2. Simulation combinant les techniques NOMA et beamforming:	32
III.3. Résultats de simulation:	41
III.4. Conclusion :	46
Bibliographie.....	50

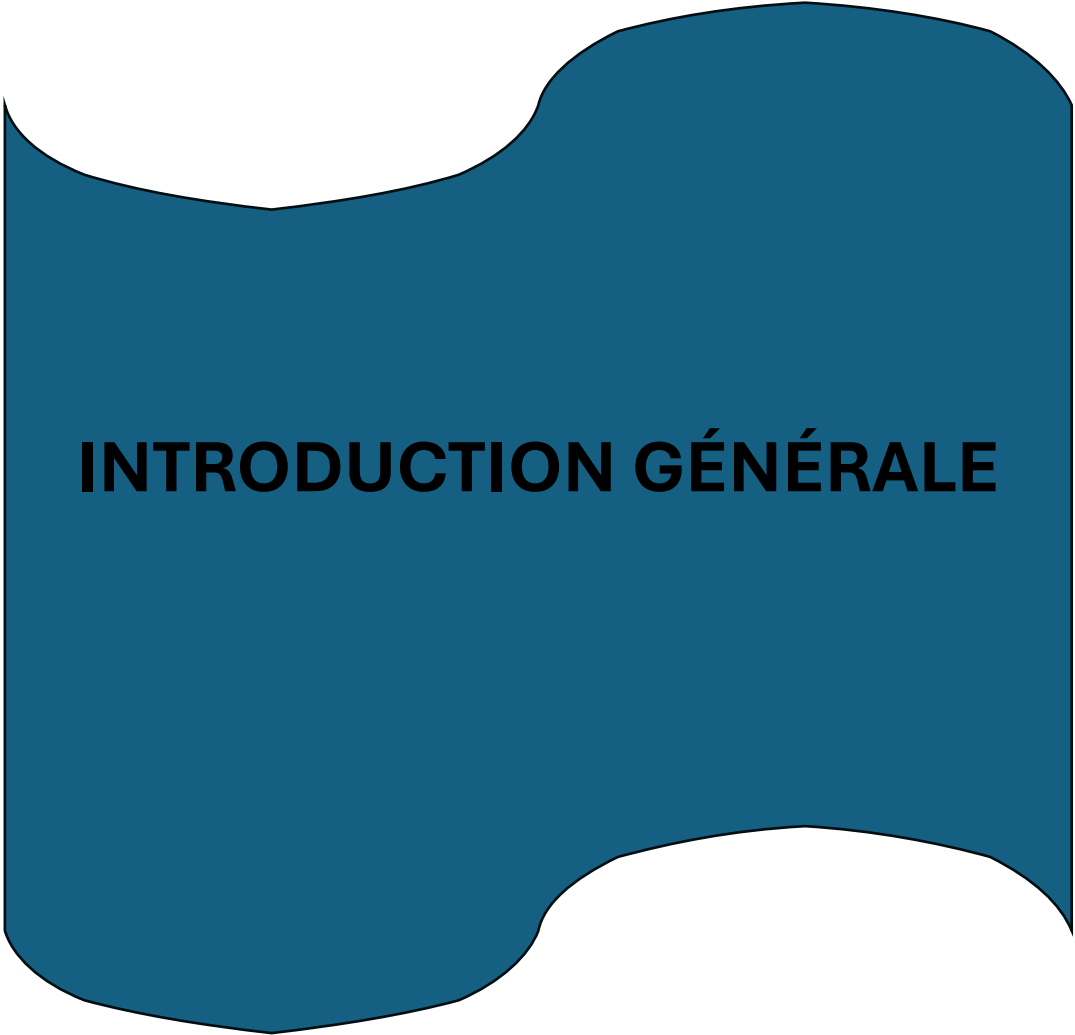
Liste des figures :

Figure1 1 Architecture du réseau 4G.....	4
Figure1 2 les objectifs de réseaux 5G [4].....	5
Figure1 3 illustre ces exemples de scénarios d'utilisation envisagés pour l'IMT pour 2020 et au-delà [8]	7
Figure1 4 la séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC [9].....	8
Figure1 5 Architecture de NG-RAN [9].....	9
Figure1 6 architecture du système 5G, no-roaming. [9].....	10
Figure1 7 Spectre 5G. [9]	11
Figure1 8 l'interconnexion entre NG-RAN et 5GC. [12].....	12
Figure1 9 Architecture fonctionnelle du réseau 5G [12]	14
Figure1 10 Les trois catégories de fréquences utilisées par la 5G. [13].....	15
Figure1 11 Le système massif MIMO [16]	17
Figure1 12 Principe de NOMA [19].....	18
Figure1 13 La technologie Beamforming [20].....	19
Figure2 1 les performances globales de deux utilisateurs [22].....	22
Figure2 2 Les mécanismes de la PD-NOMA [23].....	23
Figure2 3 structure de transmission NOMA [24].....	24
Figure 2.4: Comparaison entre NOMA et OMA [1]	27
Figure 2.5 : structure du types beamforming [40].....	29
Figure 3 1 le SINR en UMi, UMa, InH, RMa.....	41
Figure 3 2 le SINR en UMi, UMa, InH, RMa.....	42
Figure 3 3 le BER en UMi, UMa, InH, RMa	43
Figure 3 4 le Débit de données en UMi, UMa, InH, RMa.	44
Figure 3 5 L'efficacité spectrale en UMi ,UMa ,InH ,RMa	45
Figure 3 6 L'efficacité énergétique. En UMi ,UMa ,InH ,RMa	46
Figure 3 7 e délai en UMi ,UMa ,InH ,RMa	47

Liste des acronymes :

NOMA	L'accès multiple non orthogonal
OMA	L'accès multiple orthogonal
SC	le codage par superposition
SIC	successivement suppression des interférences
3GPP	3rd Generation Partnership Project
Umi	Microcellule Urbaine
Uma	Macrocellule Urbaine
InH	Point chaud intérieur
RMa	Macrocellule Rurale
SDN	le Software Defined Networking
1G	première génération
2G	La deuxième génération
GSM	Global System for Mobile Communications
3G	Troisième génération
UMTS	Système universel de télécommunications mobiles
UIT	Union internationale des télécommunications
W-CDMA	large bande de l'accès par répartition en code (code division multiple access)
4G	Quatrième génération
LTE	Long Term Evolution
5G	Cinquième génération
mMTC	Mass communications type machine (Massive Machine Type Communications)
eMBB	Large bande mobile évolué (Enhanced Mobile Broadband)
uRLLC	Ultra-fiable communications à très basse latence (3 Ultra-Reliable and Low Latency)
AN	réseau d'accès
NG-RAN	réseau d'accès radio de nouvelle génération

gNB	groupe de stations de base 5G
gNB-CU	unité de contrôle groupe de stations de base 5G
gNB-PU	unité utilisateur groupe de stations de base 5G
5GC	réseau cœur 5G
Mmwaves	ondes millimétriques
gNB-DU	unités distribuées groupe de stations de base 5G
OFDMA	l'accès multiple orthogonal par répartition dans la fréquence (orthogonal frequency Division Multiple Access)
massive MIMO	entrées multiples, sorties multiples
LOS	ligne de vue directe
NLOS	pas de ligne de vue directe
CSI	informations sur l'état du canal
CD-NOMA	domaine de code NOMA
PD-NOMA	domaines de puissance NOMA
FDMA	l'accès multiple par répartition dans la fréquence (frequency Division Multiple Access)
TDMA	l'accès multiple par répartition dans le temps (Time Division Multiple Access)
CDMA	l'accès multiple par répartition en code (Code Division Multiple Access)
SINR	Rapport signal/interférence et bruit
BER	Taux d'erreur binaire
SE	Efficacité spectrale
EE	Efficacité énergétique



INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans les réseaux sans fil de cinquième génération (5G) en cours, il existe de nombreuses exigences difficiles tels qu'une efficacité spectrale élevée, une connectivité massive et une résilience à la sélectivité de fréquence pour répondre les exigences de volumes de trafic toujours croissants, la croissance massive des appareils connectés et le large diversité des cas d'utilisation.

L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est l'une des technologies prometteuses ont émergé pour relever les défis de la 5G et au-delà des systèmes de communication sans fil , qui devrait augmenter le débit du système et permettre une connectivité massive. Différent des schémas conventionnels d'accès multiple orthogonal (OMA) où un bloc de ressources a été attribué à un seul utilisateur, les utilisateurs multiples de NOMA peuvent être attribués à la même fréquence, le temps et le code, mais dans un domaine de puissance différent pour améliorer l'efficacité du spectre. NOMA permet transmission simultanée de plusieurs utilisateurs sur les mêmes degrés de liberté via un codage par superposition avec différents niveaux de puissance.

Il utilise le codage par superposition (SC) pour partager les ressources disponibles entre les utilisateurs et adopte successivement suppression des interférences (SIC) pour la détection multi-utilisateurs (MUD). La détection est effectuée dans le domaine de puissance où l'équité peut être soutenu par une allocation de puissance appropriée. Étant donné que le domaine de puissance NOMA utilise SC à l'émetteur et SIC à la récepteur, les utilisateurs ne peuvent pas atteindre des taux égaux et subir des interférences plus élevées.

Le beamforming est une technique utilisée pour diriger un signal sans fil dans une direction spécifique plutôt que de le diffuser dans toutes les directions. Cela permet d'améliorer la puissance du signal pour l'utilisateur cible, de réduire les interférences avec les autres utilisateurs, d'augmenter le taux de transfert de bits et d'améliorer l'efficacité énergétique.

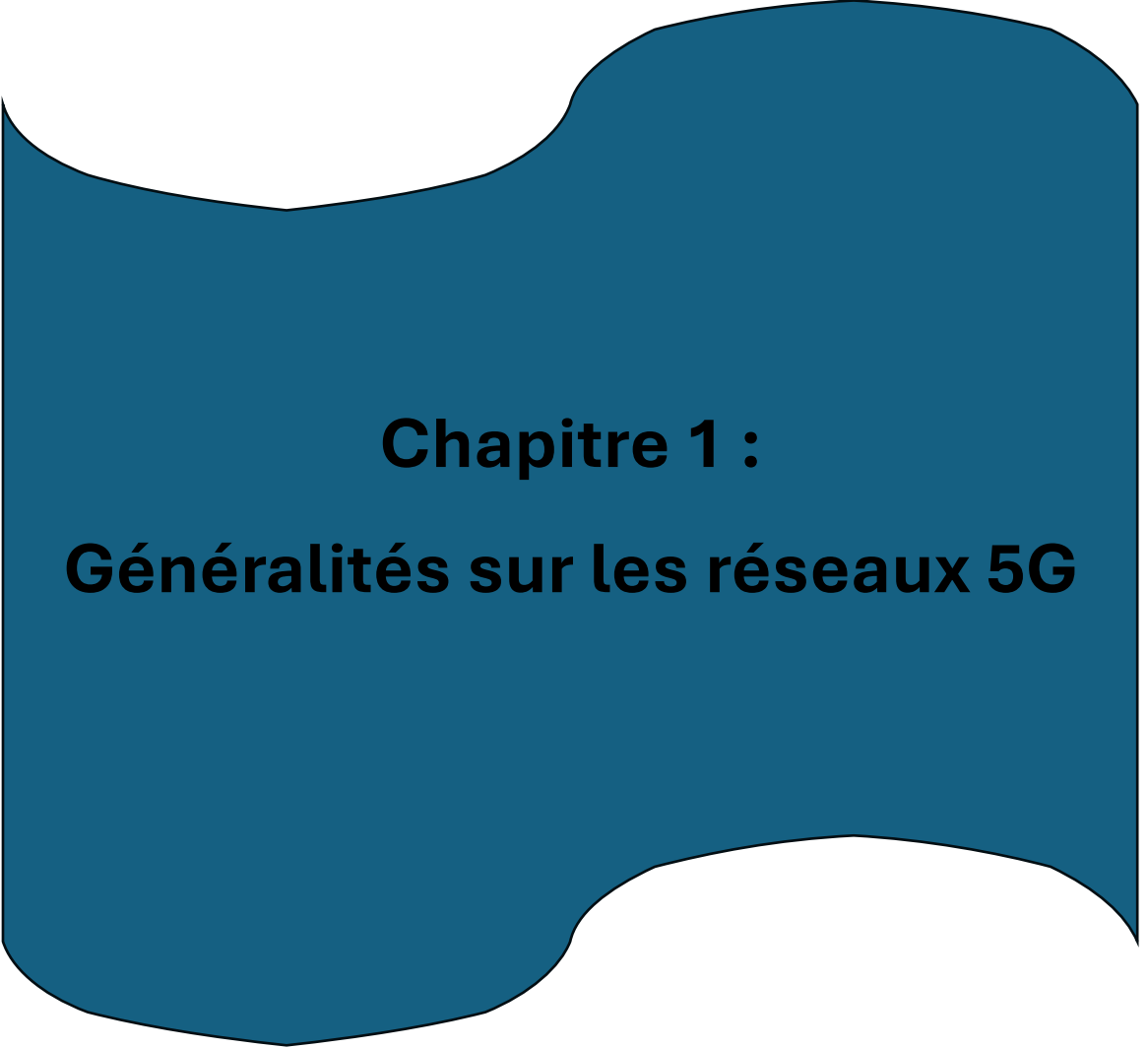
L'objectif de ce travail est d'évaluer les performances de l'application du NOMA avec le beamforming dans 5G. Notre mémoire est organisé comme suit:

Dans le premier chapitre, nous discuterons du développement progressif des réseaux mobiles menant aux réseaux 5G, de l'architecture des réseaux 5G, de leur gamme de fréquences et de leur objectif, ainsi que des technologies utilisées.

Dans le deuxième chapitre, nous discuterons du concept de NOMA et beamforming, de leur principe de fonctionnement, de leurs types, de leurs avantages et de leur rôle dans les réseaux 5G.

Dans le chapitre 3, nous étudierons la simulation de la combinaison des technologies NOMA et de formation de faisceaux dans les réseaux 5G dans la bande des ondes millimétriques, et les améliorations qui en résultent en termes de puissance du signal, de débit de données, d'efficacité spectrale, etc., en utilisant les modèles de canaux 3GPP TR 38.901 (UMi, UMa, InH, EMa).

Enfin, une conclusion générale résumant l'ensemble des travaux réalisés dans ce mémoire, ainsi que les perspectives de recherches futures



Chapitre 1 :

Généralités sur les réseaux 5G

I.1 Introduction générale sur 5G

5G signifie des réseaux mobiles presque métamorphiques, avec des débits allant jusqu'à 20 Gbps, une latence minimale de 1 ms et une densité de l'ordre de 10^4 appareils / km². Ces capacités physiques déverrouilleront de manière tout à fait réaliste un grand nombre de nouveaux cas d'utilisation et applications dans de multiples domaines verticaux automobile, santé, villes intelligentes, etc. – qui nécessiteront une diversité de nouveaux services avec diverses exigences de qualité. En revanche, cela signifie qu'il sera nécessaire d'évoluer vers une nouvelle architecture de pondération.

Par conséquent, l'évolution de l'architecture du réseau est nécessaire pour une gestion appropriée et efficace dans un contexte donné, offrant de manière optimale la connectivité des différents services sur une infrastructure partagée. Dans ce cas, le concept de "network slicing" découpage du réseau émerge comme une technologie clé et nouvelle de la 5G pour fournir et gérer des réseaux logiques multiples et isolés sur une infrastructure physique commune pour des cas d'usage spécifiques. L'implémentation du concept de "network slicing" est basée sur diverses technologies fondamentales. Premièrement, le Software Defined Networking SDN est une approche pour séparer les plans de données et de contrôle, permettant une programmabilité précise du réseau et simplifiant sa gestion. Depuis l'introduction du SDN dans les années 2000, son utilisation s'est répandue.

Pour illustrer, cela signifie le SDN dans le contexte des centres de données et des réseaux de fournisseurs de services, avec des déploiements forts chez des opérateurs de niveau 1 et dans les échanges Internet. En plus, outre son utilisation dans les réseaux haut débit fixes, le SDN est une technologie relativement récente qui a été étudiée, testée puis mise en œuvre dans les réseaux mobiles.

Ces derniers sont souvent considérés simultanément plus complexes et plus intéressants, en raison de leur échelle beaucoup plus large, d'un certain nombre de radio-réseaux plus complexes, de la topologie dynamique et de l'utilisation importante de macrocells, de femtocells, de relais, de technologies d'accès hétérogènes et de croissance exponentielle du trafic dans ces cas-là.

I.2 l'évolution des réseaux mobiles vers la 5G :

I.2.1 première génération (1G) : Le premier réseau mobile fut créé en 1980, il se fonde sur la transmission analogique Cette norme permet uniquement la transmission vocale et dispose d'une faible bande passante [1]. La surface couvrante est découpée en cellules de diamètres variables.

I.2.2 La deuxième génération (2G) ou (GSM) : Le GSM (Global System for Mobile Communications) est le premier système complet standardisé pour les télécommunications mobiles. Le réseau GSM permet aux abonnés de transmettre des communications à des stations de base mobiles. Le réseau permet la communication entre deux lieux mobiles, ainsi qu'entre des composants mobiles et des lieux fixes. Alternativement, il y a la transmission de données et de messages courts par caractères alphanumériques. Les informations sont communiquées incessamment sur les réseaux GSM, ce qui fournit la chronologie des échanges. Les données utilisateur et les signaux réseau sont communiqués par différents moyens de communication sur le réseau GSM. [2]

I.2.3 Troisième génération (3G) ou (UMTS) : Système universel de télécommunications mobiles (UMTS) est une troisième génération de technologie mobile (3G). La norme 3G a été définie par l'Union internationale des télécommunications (UIT) dans le but principal de créer une seule norme pour le monde proposant des services multimédias mobiles à haut débit sur une seule bande de fréquences [3]. Il est fondé sur la technologie W-CDMA, qui est la réalisation prépondérante, d'origine européenne, de la spécification UIT IMT-2000 pour les systèmes cellulaires radio de troisième génération [3].

I.2.4 Quatrième génération (4G) : Parfois aussi surnommée technologie LTE (Long Term Evolution), la 4G offre. Les bilans les plus représentatifs de la technologie 4G incluent des débits maximums théoriques augmentés (meilleur comportement en situation réelle et réservoir réseau plus large pour absorber le trafic des données) de 150 Mbps et une latence plus petite.

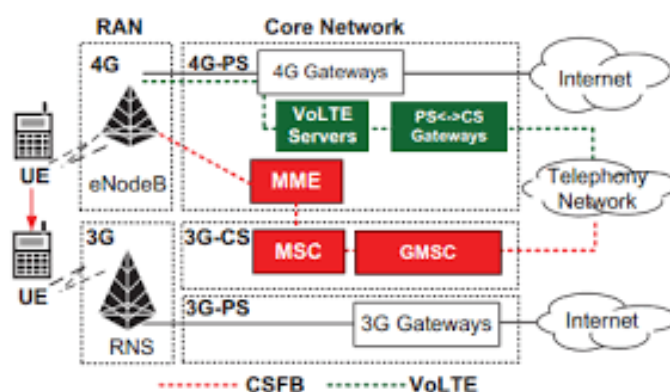


Figure1 1 Architecture du réseau 4G

1.2.5 Cinquième génération (5G) : La dernière génération de télécoms sans fil, mise en service début 2020, cette nouvelle technologie vise à améliorer les taux de transmission de données sur les connexions haut débit sans fil à 20 gigabits par seconde, à diminuer les temps de latence d'ordre de grandeur pour beaucoup en les atteignant une milliseconde et à proposer une excellente fiabilité. L'ambition est d'envisager beaucoup plus large les usages et la diversité des usagers, ainsi que la faisabilité de contrôler les terminaux en distance.

. I.3 l'objectif du 5G :

- Levels de latence < 1 milliseconde.
- Haute vitesse de débit, (1 Gb par seconde)
- Accroissement du 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 élevée et une consommation d'énergie réduite.
- Multiplication 10 fois la densité de connexion : ex (IoT)
- D'une complexité réduite et surcharge de signal.
- Taille cellules et accroissement points de relais optimisés.
- Optimisé utilisation de la bande passante - Économie de réseau en énergie.



Figure1 2 les objectifs de réseaux 5G [4]

- **Specifications de 5G** Les prévisions de marché des communications mobiles de l'année 2021 et les applications soutenues par la 5G, il est possible de dégager plusieurs tendances dans la spécification. Puisqu'aucune norme n'apparaîtra avant 2019, ces spécifications sont susceptibles de changer. Pour autant, ils donnent toujours une idée de ce que seront le réseau mobile de demain. Voici la principale spécification établie jusqu'à présent :

- Pour chaque système qui doit s'exécuter en temps réel (par exemple, les véhicules autonomes, chirurgie à distance ou Internet tactile), le temps de retard est compris entre 1 milliseconde et 5 millisecondes. Le motif est également de donner à l'utilisateur une impression que celui-ci a un accès quasi-instantané au contenu qui l'intéresse.
- La vitesse des données est augmentée d'une vingtaine de 10 Gb / s, soit dix fois la vitesse actuelle d'applications mobiles 4G. Comme avec la latence, le débit est supérieur et cela correspond à un confort d'utilisation supérieur.
- Traitement de 1000x d'augmentation de couverture réseau pour se connecter quelle que soit sa localisation par rapport à l'utilisateur, même en mobilité.
-
- Réduire d'un secteur de 90% la consommation énergétique pour limiter l'impact sur l'environnement.
- Réduction des coûts et augmentation de l'autonomie des équipements [5].
- Ces sont les familles d'usage 5G L'UIT a défini sous le nom de IMT-2020 qui est expert dans le développement du réseau de cinquième génération trois grandes catégories d'usages sont :
- Mass communications type machine (mMTC 3 Massive Machine Type Communications) : l'automatisation des processus industriels à l'aide des communications massives type machine sont des cas d'utilisation qui seront envisagés dans les futurs systèmes 5G. Cet usage est susceptible d'appeler un service qualité en fonction de réduction de la consommation énergétique, de bonne connectivité et d'une grande fiabilité [6].
- Large bande mobile évolué (eMBB 3 Enhanced Mobile Broadband) : dans grandes villes urbaines avec une forte densité d'utilisateurs, on observe de plus en plus une forte demande à l'accès des contenus, services et données multimédias. Cette demande va conduire à des besoins en termes de bande passante, ce qui conduira à la large bande mobile évolué. Cette utilisation est également accompagnée de requêtes en fonction des couvertures et très haut débit mobile continu quel que soit l'environnement de réception [7].

- Ultra-fiable communications à très basse latence (uRLLC 3 Ultra-Reliable and Low Latency) : l'utilisation-scénario sera d'une grande importance dans les applications futuristes qui nécessiteront une très grande réactivité avec une transmission extrêmement fiable. Des caractéristiques se situant en grande majorité dans les transports autonomes, dans la numérisation de l'industrie, dans la chirurgie à distance, et dans les systèmes électriques intelligents [8].



Figure 1 3 illustre ces exemples de scénarios d'utilisation envisagés pour l'IMT pour 2020 et au-delà [8]

Le fondamental briquetage de la 5G s'appelle le network slicing (en français tranche de réseau) : mécanisme qui permet de définir une enveloppe de performance, appelée slice (la tranche).

Le mécanisme de network slicing permet d'implémenter sur la même infrastructure, plusieurs services réseau répondant pour chacun des besoin spécifique avec des caractéristiques de communications spécifiques. L'UIT a défini 3 usages qui ont été normalisés sous forme de normes 3GPP4. Ces 3 usages sont définis par trois slices génériques de la 5G :

- Le haut débit mobile élevé avec l'eMBB (enhanced Mobile BroadBand).
- Faible latence et haute disponibilité avec l'uRLLC (ultra-Reliable Low Latency Communications).

- Le fait de pouvoir traiter quantité d'objets simultanément avec le mMTC (massive Machine Type Communications).

I.4. Architecture de la technologie 5G :

Le réseau 5G se compose d'un réseau central et d'un réseau d'accès (AN). Le réseau d'accès lui-même est constitué d'un réseau d'accès radio de nouvelle génération (NG-RAN), qui utilise l'interface 5G New Radio (NR) connectée au réseau central 5G. Les différentes entités du réseau sont connectées par un réseau de transport fédérateur TCP/IP garantissant la qualité de service. [9].

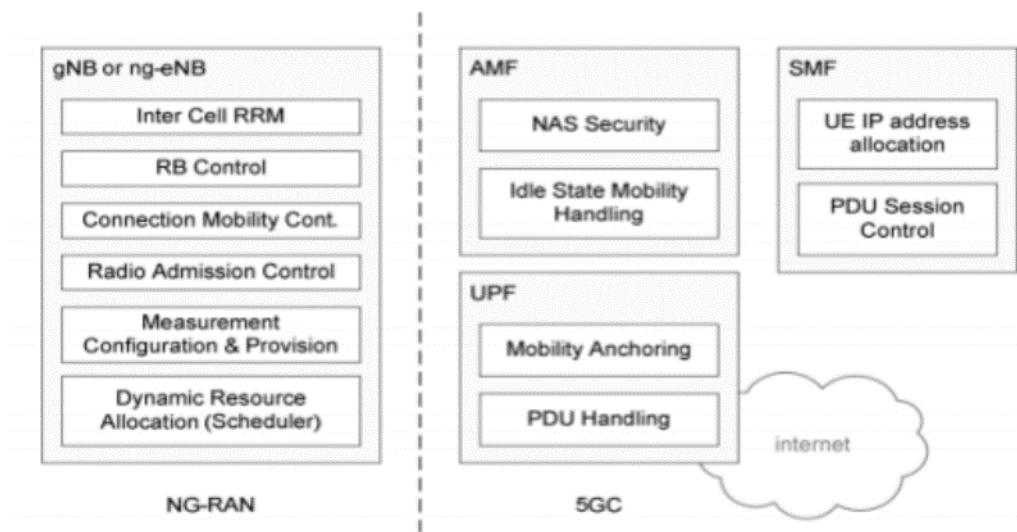


Figure1 4 la séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC [9]

I.4.1 Nouvel génération réseaux d'accès (NG-RAN)

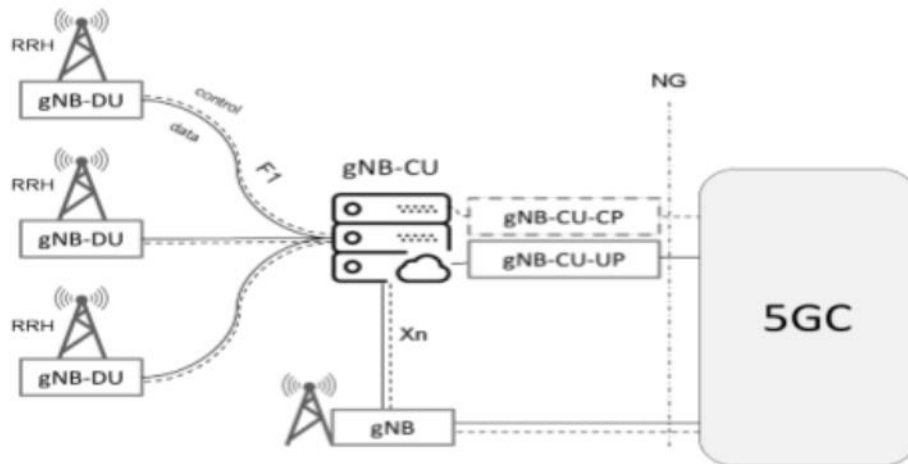


Figure1 5 Architecture de NG-RAN [9]

Comme représenté dans la figure [I.6], un NG-RAN est constitué d'un groupe de stations de base 5G, appelées gNB, connectées à un 5GC via un ensemble d'interfaces logiques. Les gNB sont interconnectés via une interface Xn afin d'améliorer la transmission et la réception et de gérer les interférences intercellulaires. L'architecture comprend parfois une unité centrale (gNB-CU). Il est divisé en deux parties : l'une pour les fonctions du plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions du plan utilisateur (gNB-CU-UP)[9].

I.4.2. 5G Réseau central (5GC) :

La décomposition des fonctions exécutées par les nœuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définie en termes de fonctions de réseau exposées sous formes de services.

Comme se produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entre les plans contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur, il y a une ou plusieurs fonctions UP (UPFs), qui effectuent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U figure [I.4] qui forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle [9].

Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est le modèle d'interface, qui est passé d'un « point à point orienté bit » à un « service orienté Web ». Le

5GC présente une architecture basée sur les services qui peut être implémentée par n'importe qui et réutilisée [9].

Il existe une interface point-à-point normalisée, soit réelle où logique, entre toute paire d'entités de réseau 2g, 3G et 4g en interaction. Cette interface utilise un protocole spécial orienté-bit. Dans le core 5G, les interactions entre les entités du plan contrôle utilisent des interfaces basées sur les services prises en charge par des outils web tels que HTTP/2, et JSON [9].

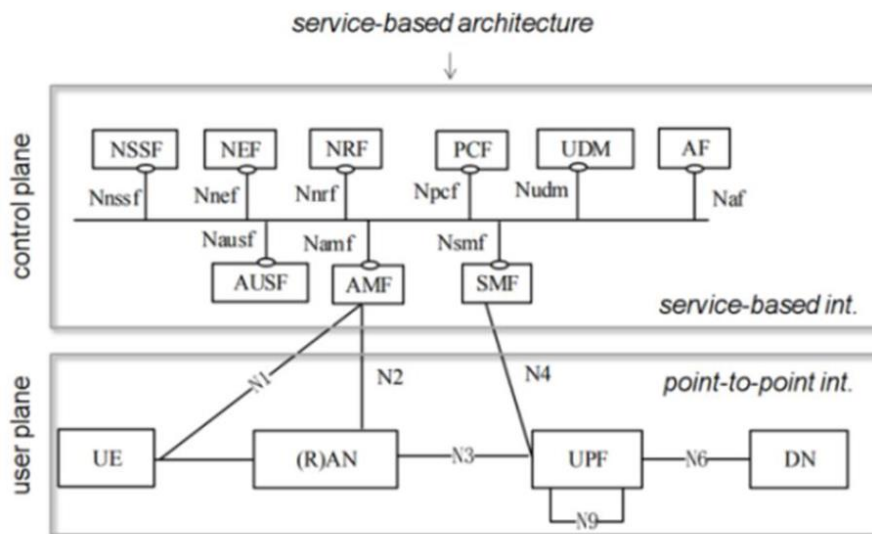


Figure 1 6 architecture du système 5G, no-roaming. [9]

I.5. Spectre pour 5G

Les réseaux 5G utilisent diverses plages de fréquences :

- Basses fréquences (700 MHz) : La couverture du signal est large, mais les débits de transfert de données sont inférieurs à ceux des hautes fréquences.
- Moyennes fréquences (jusqu'à 6 GHz) : La couverture du signal dans cette plage est plus courte que dans les basses fréquences, mais les débits de transmission de données sont bons.
- Hautes fréquences (ondes millimétriques) (supérieures à 28 GHz) : Elles offrent des débits de données élevés allant jusqu'à 20 Gbit/s, mais la couverture du signal est plus courte.

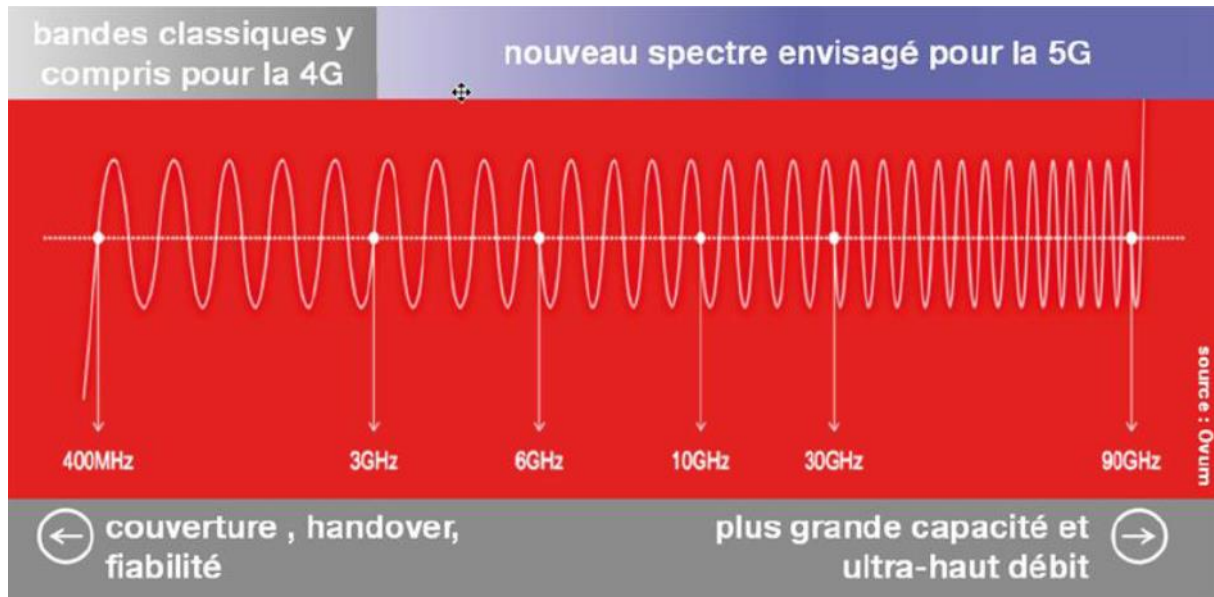


Figure1 7 Spectre 5G. [9]

I.6. Les éléments constituant le réseau 5G sont :

- Le mobile (User Equipment) Le mobile ne peut pas dialoguer avec la 5GC que s'il supporte le protocole NAS (Non Access Stratum) qui est un ensemble de protocoles qui s'établit entre l'UE et le réseau cœur quel que soit l'accès radio et il a besoin aussi d'une USIM qui contient l'identité de l'abonnée, les fonctions de sécurité et des données d'abonnement. L'abonnée peut être identifiée par un identifiant unique appelé SUPI, c'est une extension de l'IMSI de la 4G et il n'est jamais modifié. Comme aussi l'UE peut établir deux supports radio avec deux stations de bases appelées 5G DUAL mode, c'est-à-dire, l'appareil est compatible à la fois avec la 5G SA et la 5G NSA [10].
- Le réseau d'accès radio 5G (NG-RAN) est constitué de plusieurs stations de base de nouvelle génération qui représentent des nœuds reliant les téléphones mobiles ou autres appareils au réseau central 5G via des interfaces logiques par l'intermédiaire d'un lien radio 5G ou 4G. Si la connexion se fait via 5G, la station de base est nommée gNB ; si la connexion se fait en 4G, il s'agit d'un eNB 4G amélioré afin de réaliser l'interconnexion avec le réseau central 5G, appelé ng-eNB (eNB de nouvelle génération).
- Une station de base gNB est largement similaire à un eNB. Cependant, les différences concernent la gestion de la qualité de service (QoS) basée sur le flux, plutôt que sur l'opérateur, et la gestion des tranches de réseau (slices) sur l'interface radio. Une

tranche est constituée d'instances logiques du réseau mobile pour garantir la sécurité, les performances et la qualité de service pour chaque utilisation. Les gNB peuvent être interconnectés via l'interface Xn, permettant une mobilité active-active avec les ng-eNB pour des fonctions de mobilité et de gestion améliorées. [11].

- De façon ponctuelle, le fonctionnement du gNB est pensé comme une unité centralisée (gNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (gNB-DU) reliées à un concentrateur radio distant (RRH). Le gNB-CU est lui-même constitué de deux parties : l'une pour les fonctions du plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions du plan utilisateur (gNB-CU-UP) [12].

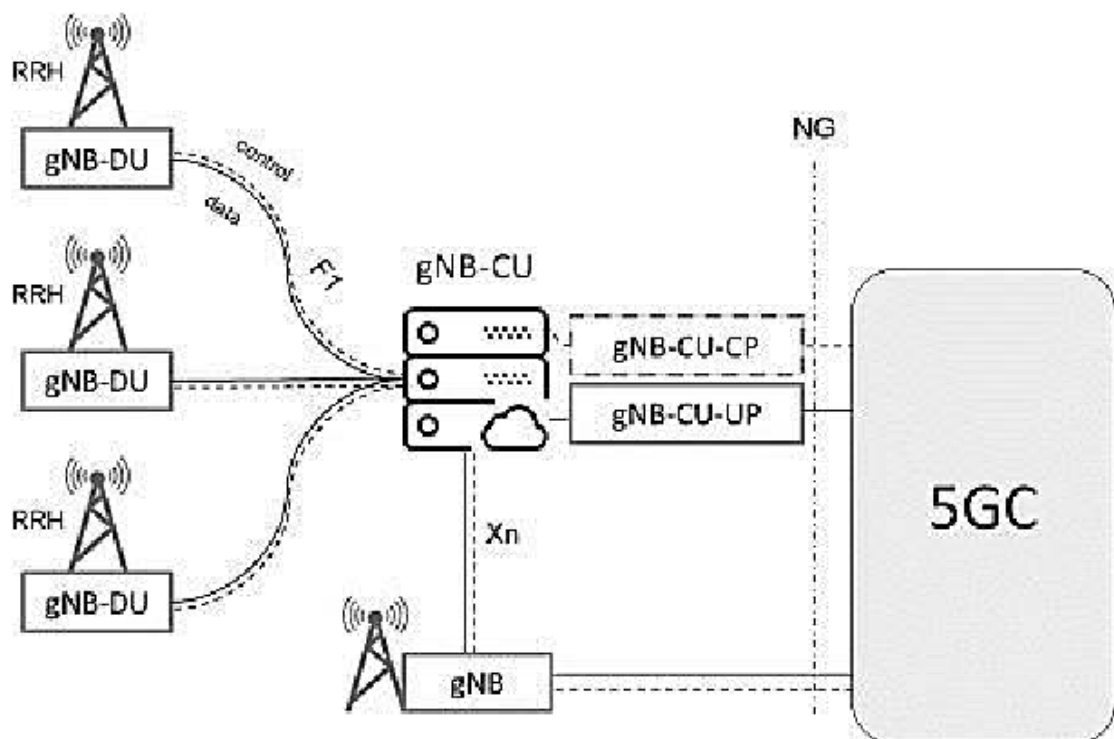


Figure1 8 l'interconnexion entre NG-RAN et 5GC. [12]

Le réseau cœur 5G (NGCN ou 5GC) : Le réseau cœur 5G est adapté pour la virtualisation des fonctions réseau aidé par l'utilisation du protocole http entre les entités fonctionnelles du réseau cœur 5G et le serveur. Il s'appuie sur le découpage du plan de contrôle (Control Plane) et du plan utilisateur (User Plane) [11]. L'architecture 5GC consiste en les fonctions réseau (Network Function) suivantes [12]:

Blocs fonctionnels au sein de l'architecture du réseau 5G :

- User Plane Function (UPF) : les gNB relaient les flux de données à des UPF qui réalisent une interconnexion avec le réseau de données.
- Access and Mobility management Function (AMF) : permet de traiter la gestion de la mobilité et la joignabilité de l'UE et la gestion de connexion.
- Session Management Function (SMF) : contrôle les UPF, gère les sessions (création, libération et modification de session) en attribuant une adresse IP à l'UE et échange des signaux avec l'UE via AMF et gNB..
- Network Slice Selection Function (NSSF) : permet d'identifier la fonction AMF appropriée pour la prise en charge de la gestion de la mobilité de l'UE.
- Unified Data Management (UDM) : gère la gestion des accès aux données d'abonnement des utilisateurs et stocke les fichiers AMF qui gèrent chaque utilisateur.
- Authentication Server Function (AUSF) : contrôle la gestion des aspects de sécurité tels que l'authentification des utilisateurs et les clés de sécurité. Fonctions de gestion des SMS [12]:
- Short Message Service Function (SMSF) : c'est une passerelle entre le serveur de message court externe et le réseau 5G, il dialogue avec l'UDM pour consulter le profil de l'abonné. Les fonctions qui gèrent la qualité du service [12]:
- Policy Control Function (PCF) : gère les politiques appliquées à l'appareil utilisateur (politique de gestion de la mobilité, gestion du choix des technologies d'accès, etc.) en les acheminant vers les contrôleurs utilisateurs (UPF)
- . - La fonction d'application (AF) : il définit une gestion particulière des flux des données pour une session d'application et il l'indique aux PCF. Les fonctions du service annuaire [12]:
- Network-function Repository Function (NRF) : il permet à une entêtée fonctionnelle de déterminer les entêtées fonctionnelles disponibles Donc toute les entêtes qui deviennent actives doivent s'enregistrer auprès du NFR. Les fonctions du service externe [12]:
- Network Exposure Function (NEF) : Network Exposure Function (NEF) : Un type de pare-feu pour des raisons de sécurité, pour empêcher un attaquant externe d'avoir un accès direct aux fonctions de contrôle du réseau.

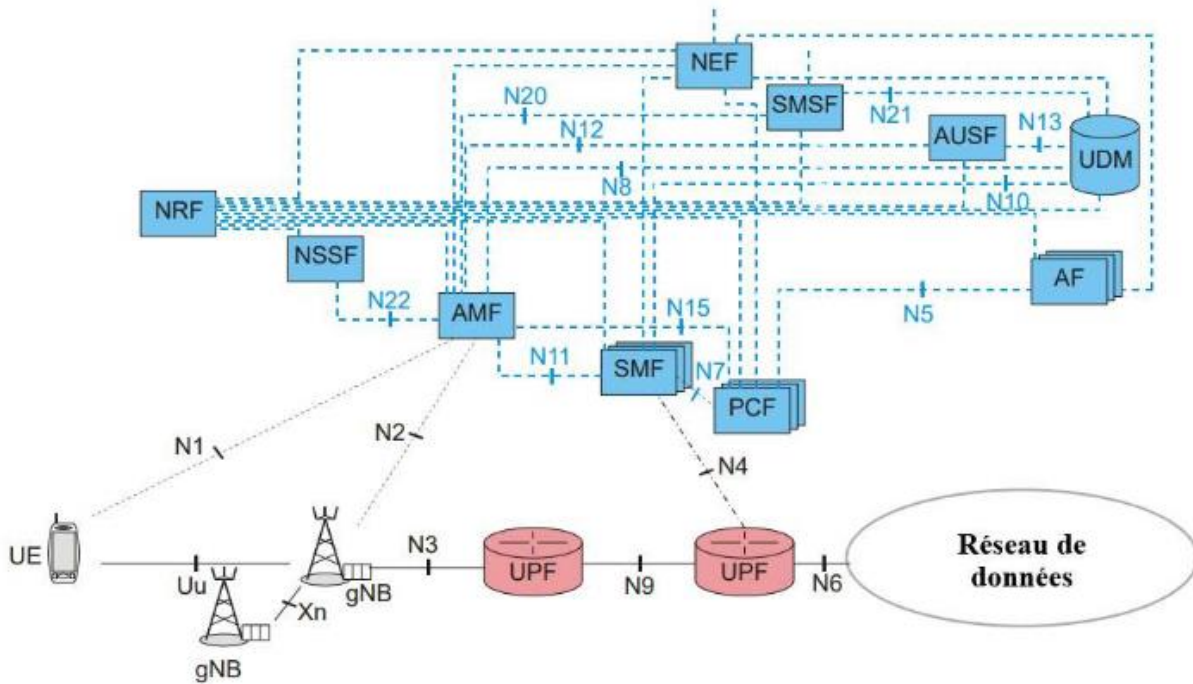


Figure1 9 Architecture fonctionnelle du réseau 5G [12]

I.7. Les fréquences attribuées à la 5G :

La 5G ne consiste pas en une amélioration des normes précédentes de la téléphonie mobile. Plus qu'une évolution de la 4G, il s'agira d'un nouveau réseau, utilisant des ondes jusque-là inutilisées pour le grand public. Les fréquences prévues pour la 5G seront divisées en trois catégories : les basses fréquences (< 1GHz), les fréquences moyennes (entre 1GHz et 6 GHz) et les hautes fréquences (au-dessus de 20 GHz) [13] . Dans les premiers temps, elle va réutiliser les mêmes bandes de fréquences que la 4G grâce à la technologie DSS qui permettra de basculer directement depuis l'antenne entre la 4G et la 5G selon la demande. C'est-à-dire, un opérateur télécom va offrir de la 5G en réutilisant les bandes de fréquences de la 4G ainsi que les mêmes équipements. Ensuite, elle va faire appel à deux nouvelles bandes de fréquences : Les bandes de fréquences 5G Sub-6, elles désignent les fréquences sous la barre des 6GHz (s'étendent de 450MHz à 6GHz), pour la 5G ça sera entre 3.4GHz à 3.8GHz. Ce sont des fréquences qui assurent une meilleure couverture mobile et une meilleure portée, mais avec un débit maximal plus faible. Elles regroupent à la fois les bandes moyennes, qui sont nouvelles, et les basses fréquences (700MHz) qui sont utilisées par la 4G LTE et réutilisées par la 5G [13]. La bande des ondes millimétriques ou mmWave sont des ondes radioélectriques couvrant les fréquences allant jusqu'à 300GHz, pour les mmWave de la 5G ça sera entre 24GHz à 30GHz, ce sont des ondes ayant une longueur d'onde de l'ordre du

millimètre, bien plus petite que celle utilisée classiquement pour les ondes radio. L'exploitation de ces hautes fréquences permet d'obtenir de très hauts débits, mais les faibles longueurs d'onde sont plus sensibles aux perturbations et pénètrent difficilement les bâtiments et leurs portées est limitée (<1Km).

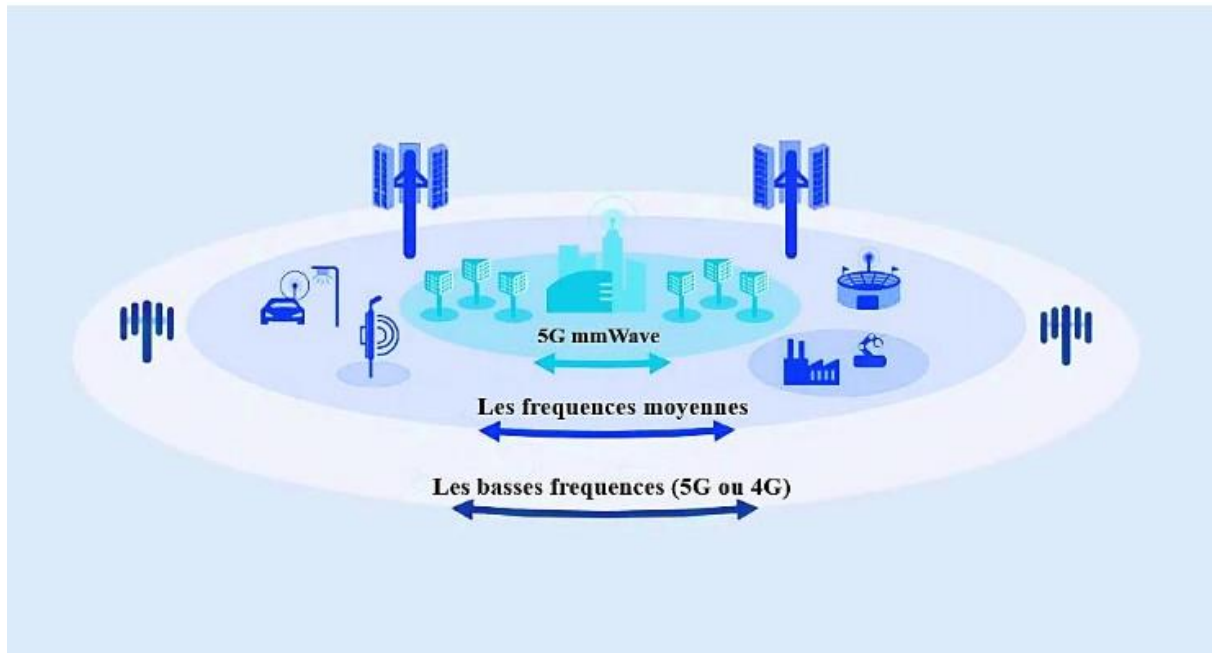


Figure1 10 Les trois catégories de fréquences utilisées par la 5G. [13]

I.8. La transmission dans le réseau 5G :

New Radio Les méthode de modulation multi porteuses sont choisies pour la mise en œuvre des systèmes de communication sans fil actuel comme le 5G, leurs principes sont de transmettre les informations en même temps sur N porteuses modulées à un taux total constant [14]. La transmission 5G NR repose sur l'OFDM qui est une transmission analogique de données, elle fractionne la bande du système en un très grand nombre d'individuelle porteuse appelé sous-porteuse, s'appelant orthogonale. Grâce à cette technique, on déploie beaucoup d'informations en peu de temps mais aussi beaucoup d'énergie. Son principe est la transmission parallèle de sous porteuse différentes prises d'une certaine largeur de bande Δf , espacement des sous-porteuses, menant au concept de numérologie [10] .

Dans 4G, chaque sous-porteuse est transmise sur une largeur de bande de 15kHz, dans 5G NR l'espacement possible des sous-porteuses est en fonction de $15\text{kHz} \times 2^{\mu}$. Nous déduisons donc les numérolgies de transmissions prises en charge [14].

• $\mathcal{D} = 0 \Delta f = 15 \text{gDv}$ • $\mathcal{D} = 1 \Delta f = 30 \text{gDv}$ • $\mathcal{D} = 2 \Delta f = 60 \text{gDv}$ • $\mathcal{D} = 3 \Delta f = 120 \text{gDv}$ • $\mathcal{D} = 4 \Delta f = 240 \text{gDv}$. Par conséquent on aura davantage de largeurs de bande et donc la durée des symboles sera devenue plus courte car $\square = 1 \Delta f$; Par conséquent en doublant les fréquences, le temps sera baissé de moitié aussi. In OFDM, sur un paramètre nommé le CP, c'est la tête de chaque sou porteur, il est à recopier la fin d'un symbole au début en portée pour échapper aux interférences inter symboles. De la même manière sa durée sera également décalée par deux pour s'adapter aux fréquences porteuses différentes [10].

I.9. Les technologies envisagées par le réseau 5G : Compte tenu de l'évolution des réseaux cellulaires, diverses technologies prometteuses ont été envisagées pour les réseaux 5G et potentiellement bénéfiques pour la localisation.

I.9.1. Le système massive MIMO : MIMO en français signifie « entrées multiples, sorties multiples », cela veut dire qu'une antenne réseau peut simultanément recevoir des données de plusieurs appareils mais également en envoyer à différentes destinations au même temps. Pour que ça fonctionne, chaque réseau utilise plusieurs antennes donc divers modes de propagation pour envoyer plus de données avec une meilleure fiabilité. Avec la 5G, c'est devenu massive MIMO, c'est le même concept mais avec plus d'antennes. Les MIMO peuvent utiliser environ quatre transmetteurs, tandis que les massive MIMO comprendront plutôt 100 antennes, un nombre excessif d'antennes, de telle façon que le nombre de transmetteurs dépasse le nombre d'utilisateurs [15]. Les systèmes massive MIMO peuvent se révéler très pertinents pour la localisation de haute précision, en effet, un réseau massif d'antenne permet d'estimer précisément les AOA de chaque composant multi trajets. C'est-à-dire, en analysant les canaux de liaison montante à l'aide des signaux envoyés par les UEs, la BTS peut estimer le AOA avec une précision élevée et à un faible effet d'interférence inter-utilisateurs [16]. Mais comme le montre la figure I.6, la localisation dans les systèmes massive MIMO reste uniquement efficace dans la mesure où on peut identifier la ligne de vue direct (LOS) par contre c'est plus difficile dans des environnements à trajet multiples où y a plusieurs obstacles qui bloquent le LOS.

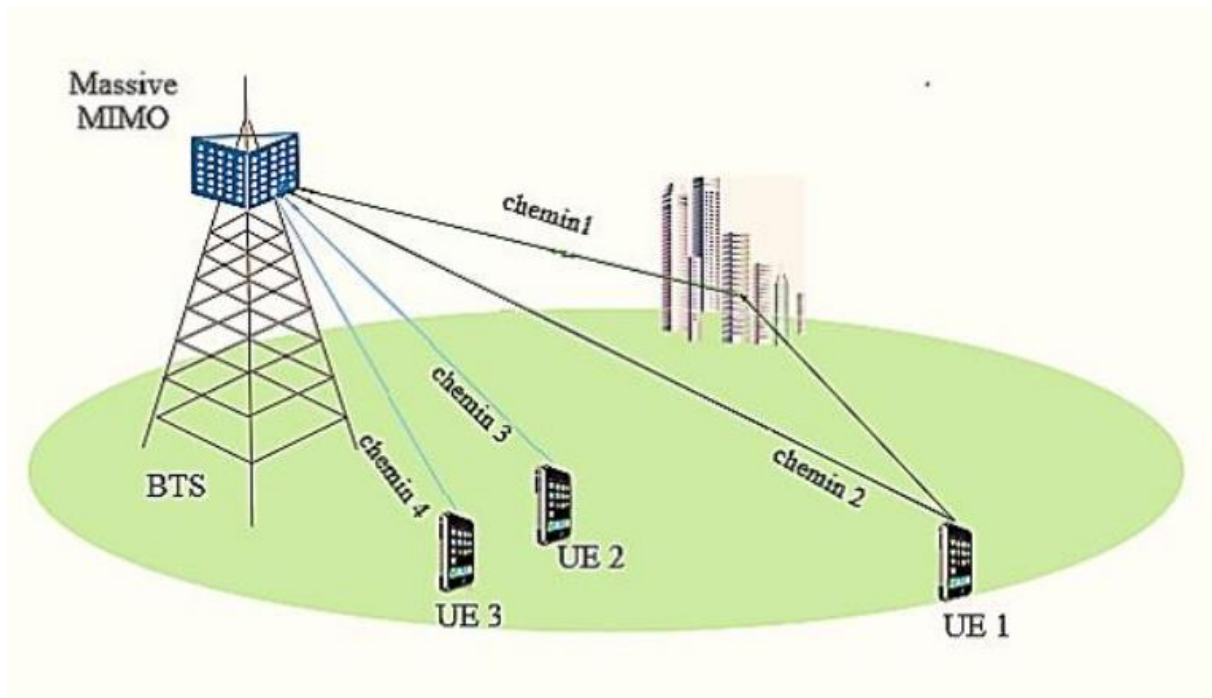


Figure 11 Le système massif MIMO [16]

I.9.2. Communication par onde mmWave : L'utilisation de la technologie mmWave apporte de nombreux avantages pour les systèmes 5G, une large bande passante, la possibilité d'emballer un grand nombre d'antenne dans une petite zone, un débit de données élevées, une communication à faible latence et offre aussi un grand potentiel pour améliorer les performances de localisation dans des environnements complexe. Dans les zones intérieures ou urbaines à des trajets multiples, l'UE peut recevoir des signaux mmWave provenant de multiples chemins transmis par une ancre physique (point d'accès ou BTS), qui peuvent être réfléchis par différents obstacles lors de la transmission [17].

I.9.3. Principe de l'accès multiple non orthogonal (NOMA) : Les systèmes NOMA ont fait l'objet d'une attention particulière pour le réseau 5G, la principale raison est sa compatibilité avec les autres technologies envisagées par la 5G et sa capacité d'utiliser la même ressource en termes de temps, de fréquence et de puissance. Les techniques NOMA disponibles peuvent être globalement divisées soit en domaine de la puissance où la superposition de plusieurs utilisateurs se fait en exploitant la différence de gain de canal entre les utilisateurs. Soit en codage (CD-NOMA) donc la détection des multi- utilisateurs peut être effectuée en utilisant des algorithmes [18]. NOMA exploite le codage par superposition au niveau de l'émetteur et l'annulation des interférences successives (SIC) au niveau du récepteur, multiplexant ainsi les utilisateurs dans le domaine de la puissance. L'UE avec un

gain de canal plus élevée (UE fort) soustrait le signal de l'UE avec un gain inférieur (UE faible) via SIC, puis décode son propre signal, l'UE faible considère le signal de l'UE fort comme du bruit et détecte directement son propre signal. Avec un gain de canal inférieur et plus d'interférences, l'UE faible se voit attribuer plus de puissance dans NOMA [19].

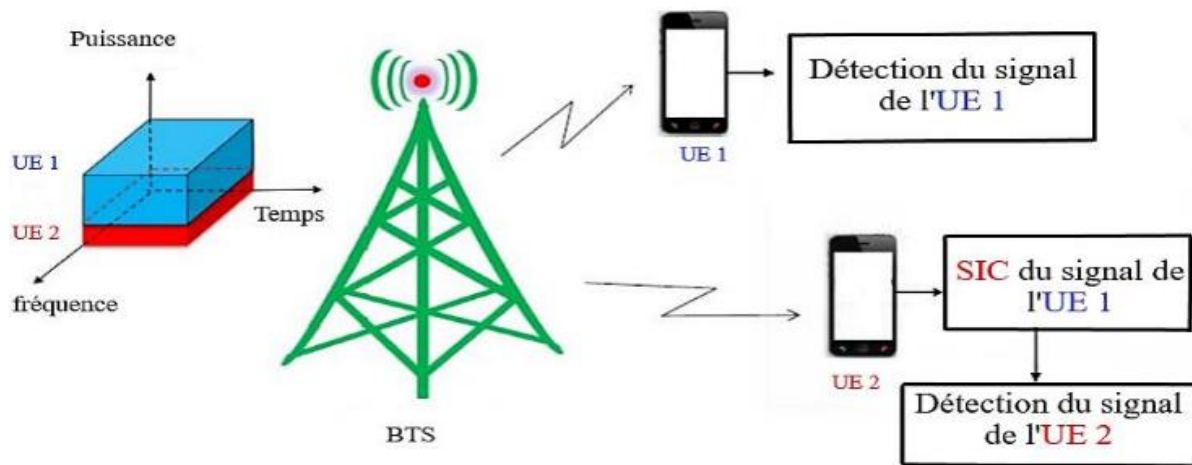


Figure1 12 Principe de NOMA [19]

I.9.4. Le beamforming : est une technologie réseau qui permet de constituer des faisceaux très directifs vers les terminaux. Cela améliore la stabilité du signal émis et sa puissance, notamment dans des endroits surchargés, comme les lieux publics. [20].

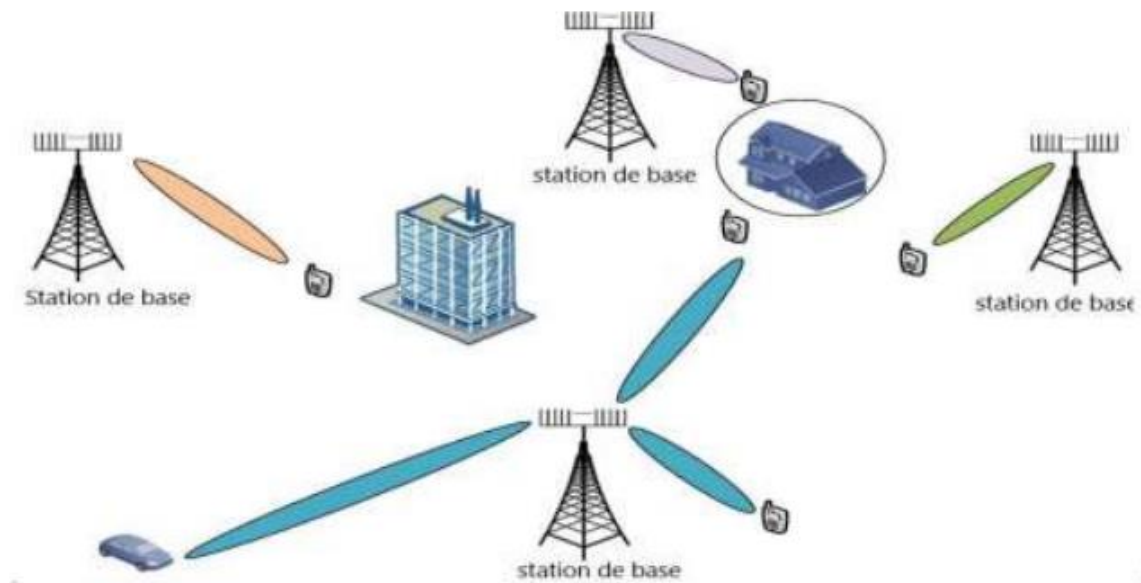


Figure1 13 La technologie Beamforming [20]

I.10. Conclusion :

Ainsi, dans ce premier chapitre, nous avons expliqué le développement des quatre générations de téléphones mobiles, de la 1G à la 4G, de manière générale. Ensuite, nous avons détaillé le fonctionnement de la cinquième génération, en abordant sa structure, ses applications et les technologies associées qui seront mises en œuvre. Enfin, l'avènement de la 5G représente une véritable innovation dans le domaine de la communication, susceptible de faciliter nos tâches quotidiennes.

Chapitre 2 :
NOMA et BEAMFORMING DANS
LA 5G

II.1 Introduction :

Les réseaux de communication sans fil actuels allouent des ressources radio aux utilisateurs selon le principe de l'accès multiple orthogonal (OMA). Cependant, ce type de technologie d'accès est limité par le nombre croissant d'utilisateurs et le besoin urgent d'une très haute efficacité spectrale, d'une très faible latence et d'une connectivité massive des appareils. NOMA a été proposé comme technologie d'accès radio pour les systèmes cellulaires 5G. NOMA est une radio multiaccès démontrée pour améliorer l'efficacité spectrale et énergétique et son amélioration des nombres d'appareils et d'utilisateurs. Contrairement aux méthodes d'accès multiple orthogonal, telles que l'OFDMA, NOMA peut alimenter plusieurs signaux sur une seule ressource radio. Dans ce chapitre, nous présentons les fondamentaux de NOMA en tant que future technologie d'accès radio, ainsi que la technique de beamforming pour améliorer les performances de NOMA.

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.

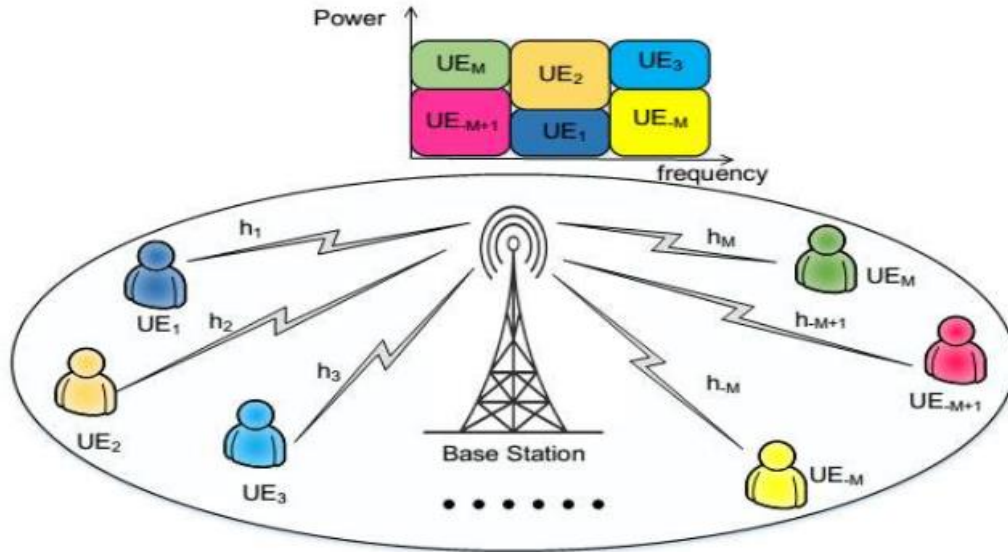


Figure2 1 les performances globales de deux utilisateurs [21]

En général, les systèmes NOMA existants peuvent être classés en deux catégories : le NOMA en bande de puissance et le NOMA en bande de code. Le premier attribue un niveau de puissance spécifique à chaque utilisateur, et plusieurs utilisateurs transmettent leurs signaux en partageant les mêmes ressources de code temporelles et fréquentielles, chacun utilisant sa propre puissance allouée [21]. Le niveau de puissance utilisateur est déterminé par le gain du canal : l'utilisateur ayant le gain de canal le plus élevé se voit souvent attribuer un niveau de puissance inférieur. À la réception, les signaux des différents utilisateurs peuvent être séparés par annulation d'interférences en successive (SIC). Le **NOMA** en code s'appuie sur des livres de codes, des séquences de propagation, des motifs d'interférence ou des séquences de codage pour allouer les 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 [22].

II.2.2 NOMA en bande de puissance (PD-NOMA) : Le PD-NOMA permet à plusieurs utilisateurs d'accéder à toutes les ressources fréquentielles et temporelles. Grâce à un mécanisme de superposition de symboles (CS), l'efficacité spectrale est améliorée. Le PD-NOMA repose principalement sur la transmission de différents signaux provenant des utilisateurs et sur l'attribution de niveaux de puissance différents à chaque signal, en fonction de l'état du canal de chaque utilisateur, afin de garantir des performances optimales du système. La figure II.2 illustre un système NOMA simple composé d'une station de base et de deux utilisateurs, chacun équipé d'une seule antenne. Supposons que p_1 et p_2 soient les signaux à transmettre de la station de base aux utilisateurs 1 et 2, respectivement. À la réception, le détecteur SIC détecte les signaux des différents utilisateurs, qui sont décodés séquentiellement. Une fois le signal décodé, il est soustrait du message reçu, puis le signal de l'utilisateur suivant est décodé. [22].

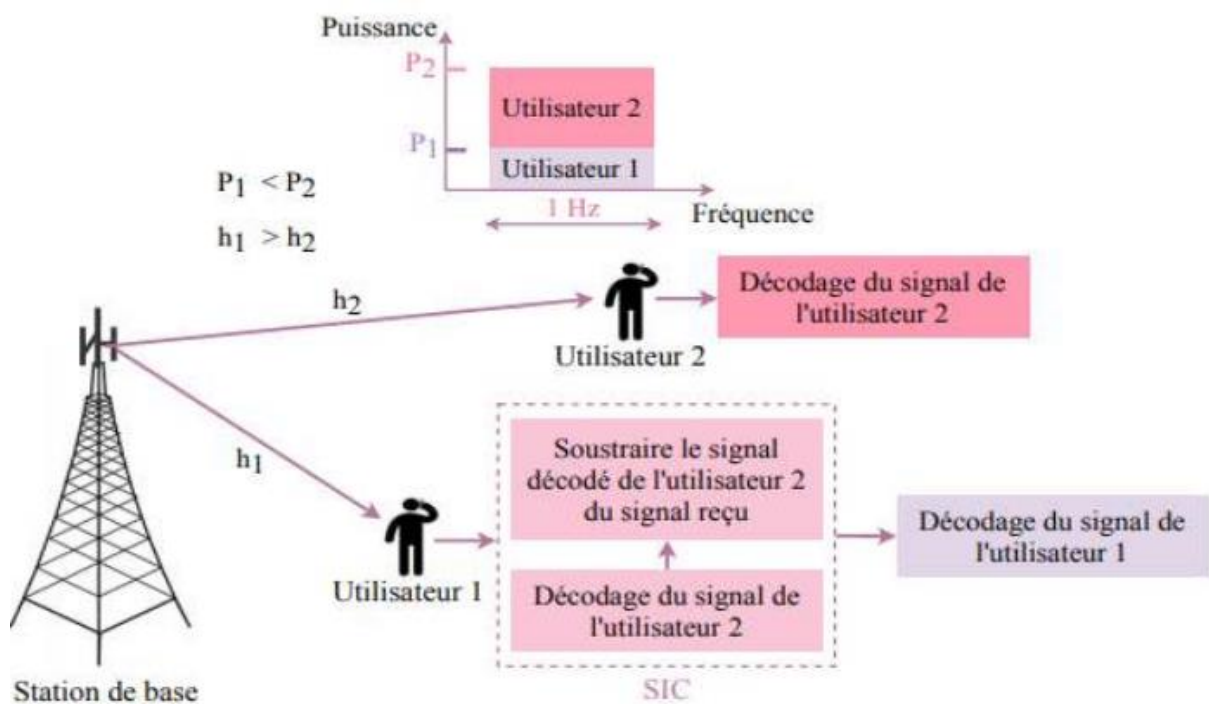


Figure 2 Les mécanismes de la PD-NOMA [22]

II.2.3 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 [23]. Pour cela on va étudier le modèle de système de cette technique qui est comme tous modèles de transmission se compose de trois parties : émetteur, canal et récepteur (voir la figure (II.4))

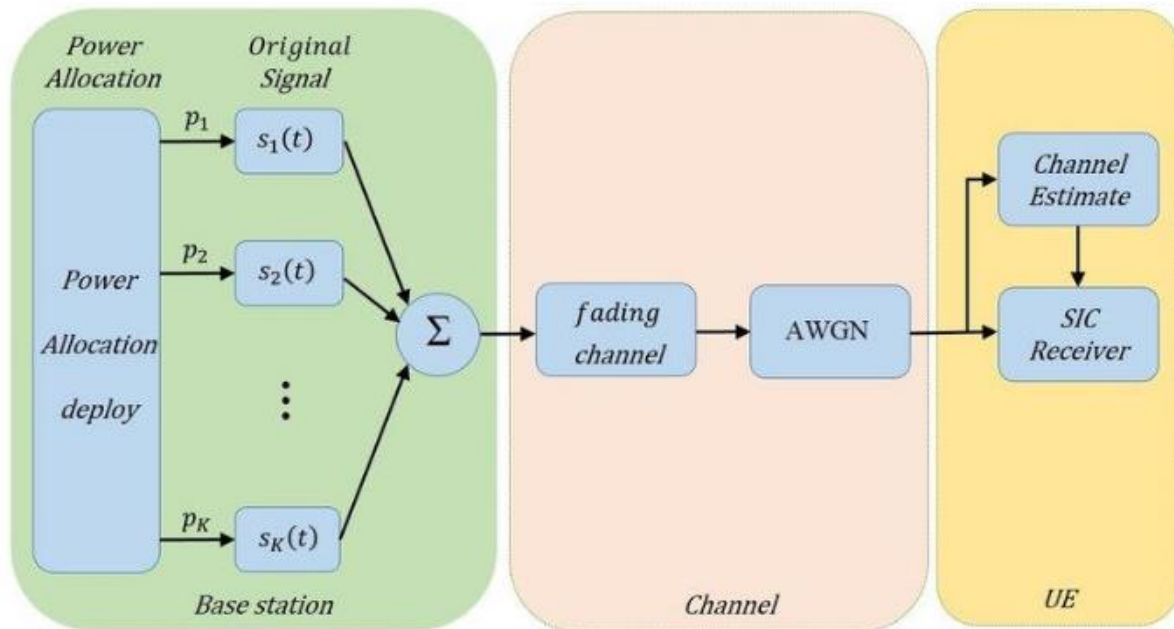


Figure2 3 structure de transmission NOMA [23]

Qu'est-ce-que l'accès multiple non orthogonal (NOMA) ? Accès Multiple Non Orthogonal NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) Le système a été récemment proposé comme technique d'accès multiple candidate pour les systèmes 5G et au-delà 5G par 3GPP (3G Partnership Project) dans différentes applications en raison d'augmenter la capacité du système [24]. La stratégie d'accès multiple non orthogonal (NOMA) peut prendre en charge plusieurs utilisateurs dans le même bloc de ressources (temps / fréquence / code), en utilisant un codage de superposition dans le domaine de la puissance. Dans les récepteurs, plusieurs utilisateurs peuvent être distingués les uns des autres en exploitant l'annulation d'interférence successive (SIC) comme il est déjà mentionné.

Ce système a suscité un grand intérêt en tant que technique permettant d'augmenter le nombre d'utilisateurs pouvant être desservis simultanément en programmant plusieurs utilisateurs sur les mêmes ressources spectrales mais à des niveaux de puissance différents, ce qui fait de NOMA un système d'accès prometteur dans les systèmes 5G et au-delà. [25]

II.2.4 - Paramètres d'évaluation et état de la normalisation : Saito et al ont pour la première fois découvert le potentiel du NOMA aux réseaux cellulaires 5G [26] et a prouvé que la NOMA surpasse le OMA dans capacité et équité pour l'utilisateur. Depuis que, des chercheurs provenant de toutes les parties du monde ont commencé à explorer enquelle façon le concept de NOMA peut être traduit en technologies d'accès sans fil de prochaine génération. La plupart des travaux initiaux sur NOMA se sont concentrés sur l'entrée unique et la sortie unique (SISO), dans laquelle l'allocation de puissance et l'équité des utilisateurs sont les principales préoccupations. L'allocation de puissance dans NOMA ne vise pas uniquement à maximiser le débit total, mais considère le débit total et l'équité pour les utilisateurs dans leur ensemble. En effet, NOMA attribuera toute la puissance à l'utilisateur fort si l'objectif est de maximiser le débit total, et n'offre donc aucun gain par rapport à OMA. Les performances de NOMA peuvent être encore améliorées en l'associant à la technologie multi-entrées multi-sorties (MIMO). Dans MIMO-NOMA, les utilisateurs sont jumelés en clusters et NOMA est appliqué uniquement parmi les utilisateurs du même cluster. Il n'est pas trivial d'obtenir l'appariement optimal des utilisateurs, puisqu'une recherche exhaustive est nécessaire. Une fois les utilisateurs appariés en clusters, un vecteur de pré-codage commun est partagé par les utilisateurs du même cluster, ce qui transforme le canal MIMO en plusieurs canaux SISO parallèles. En conséquence, la supériorité de NOMA sur OMA tient toujours [27] . - Il existe une explosion d'activité liée à divers schémas d'accès multiples non orthogonaux pour la 5G cellulaire, ce qui enthousiasme les principaux acteurs de l'industrie du sans fil. NOMA est inclus dans divers livres blancs sur la 5G, y compris ceux de ZTE Corporation, SK Telecom et Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS) consortium.

Dans le cadre de la vision 5G, DOCOMO et MediaTek recherchent conjointement pour combiner les technologies NOMA de DOCOMO avec les technologies d'annulation des interférences multi-utilisateurs de MediaTek [28]. La méthode d'accès multiple non orthogonal a une activité de normalisation notable. NOMA est inclus dans l'enquête sur la transmission superposée multi-utilisateurs en liaison descendante LTE par la version 13 du projet de partenariat de 3e génération (3GPP). NOMA a également été pris en compte dans l'étude initiale portant sur la nouvelle radio 5G (NR) de la version 14, qui reconnaissait que la 5G NR devrait envisager au moins des schémas d'accès multiples non orthogonaux en liaison montante, en particulier pour les communications massives de type machine. En outre, l'étude des schémas d'accès multiples non orthogonaux pour la 5G NR, y compris NOMA, se

poursuivra dans la version 15 [29]. Ces enquêtes incluent des collaborations entre divers fournisseurs majeurs tels que DoCoMo, Huawei, Intel et Samsung.

II.3 - Champs de puissance NOMA : Dans cette méthode, différents niveaux de puissance sont attribués à tous les clients en fonction de leur distance par rapport à la station de base, de sorte que l'utilisateur proche (informations sur l'état du canal CSI) (CSI fort) a une faible puissance et l'utilisateur distant (CSI faible) a une puissance élevée [30]. Tous ces utilisateurs sont superposés et transmis par voie hertzienne. Les données utilisateur sont décodées à l'aide de la technologie d'annulation d'interférences en cascade (SIC) au niveau des récepteurs disposant de bons canaux en fonction de leurs niveaux de puissance. Par conséquent, le champ de puissance NOMA nécessite un émetteur-récepteur très sophistiqué pour éviter complètement le bruit et les interférences. Le champ de puissance NOMA est plus efficace pour plusieurs utilisateurs car ils utilisent les mêmes ressources et le même temps. À mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, la conception devient plus complexe et les performances du champ de puissance NOMA se dégradent. Par conséquent, une allocation de puissance appropriée à chaque utilisateur ou appareil est essentielle pour la mise en œuvre du champ de puissance NOMA. [31] NOMA permet aux utilisateurs sans licence d'utiliser les ressources des utilisateurs sous licence si elles sont disponibles. Les interférences entre eux sont très faibles en raison de leurs conditions de canal, ce qui permet une efficacité spectrale et énergétique améliorée [33].

II.4 Domaines de code NOMA : L'utilisation des codes gaussiens provient de Détection de compression CS (Compressive Sensing) théorie. Dans la théorie CS, un signal initial de dimension N est projeté dans un nouveau signal composé de très peu (k) composantes non nulles parmi N , appelé signal k -clairsemé (ou ayant un niveau de parcimonie k). L'ensemble des indices de ces k composantes constitue le modèle de parcimonie. On reconstruit alors cette version du signal à partir de seulement m mesures obtenues par un $m \times N$ matrice de mesure avec $m < N$. Ce problème sous-déterminé peut être résolu grâce à un algorithme qui effectue une minimisation l_1 ou une approximation creuse. La réduction dimensionnelle du signal observé (de N à m) donne la caractéristique de compression à cette technique de détection. Le but du récepteur est de détecter les nœuds actifs inconnus plutôt que de récupérer la valeur réelle du vecteur de signal [34]. Il introduit un cadre dédié à la détection-estimation simultanée. De même, chaque nœud n'est associé qu'à un unique i.i.d. vecteur normalisé codage gaussien complexe C ou matrice normalisée en colonne, qui sert à encoder

les données qui désigne un message codé. Pour le cas général : $X_n = C_n S_n$ (III.6) Le signal reçu est alors : $Y = \sqrt{\rho_0} \sum N q$

$n=1 \ln(C_n S_n) T + Z$ (III.7) (Pour $d = 1$, l'équation III.7 se réduit à Cs et s peut être considéré comme un bit de notification d'activité.).

II.5. Avantages du NOMA : NOMA domine l'accès multiple orthogonal conventionnel (OMA) sous plusieurs aspects, tels que :

- 1) Il atteint une efficacité spectrale supérieure en desservant plusieurs utilisateurs en même temps et avec la même ressource de fréquence, et en atténuant les interférences via SIC.
- 2) Il augmente le nombre d'utilisateurs desservis simultanément et peut donc prendre en charge une connectivité massive.
- 3) En raison de la nature de la transmission simultanée, un utilisateur n'a pas besoin de passer par un créneau horaire programmé pour transmettre ses informations et, par conséquent, il subit une latence plus faible.
- 4) NOMA peut maintenir l'équité pour les utilisateurs et une qualité de service diversifiée grâce à un contrôle de puissance flexible entre les utilisateurs forts et faibles. En particulier, comme plus de puissance est allouée à un utilisateur faible, NOMA offre un débit plus élevé en périphérie de cellule et améliore ainsi l'expérience utilisateur en périphérie de cellule.
- 5) Efficacité spectrale et débit : Dans les technologies d'accès multiple orthogonal, comme l'OFDMA, chaque utilisateur se voit attribuer une fréquence et une ressource temporelle spécifiques, que les conditions du canal soient bonnes ou mauvaises. Cela entraîne une réduction de l'efficacité spectrale et du débit. À l'inverse, en NOMA, la même fréquence et la même ressource temporelle sont attribuées simultanément à plusieurs utilisateurs, que les conditions du canal soient bonnes ou mauvaises. Par conséquent, l'utilisateur fort utilise également la ressource allouée à l'utilisateur faible, et les interférences peuvent être atténuées grâce aux processus SIC dans les récepteurs des utilisateurs, ce qui améliore l'efficacité spectrale et le débit.
- 6) Équité pour l'utilisateur, faible latence et connectivité massive : en OMA, par exemple en OFDMA avec planification, l'utilisateur avec un bon statut de canal à une priorité plus élevée à donner lorsque l'utilisateur est dans un mauvais statut de canal doit attendre l'accès, ce qui conduit à un problème d'équité et une latence élevée. Cette

approche ne peut pas supporter une communication massive. Cependant, NOMA peut servir simultanément plusieurs utilisateurs avec différentes conditions de canal. Ainsi, il peut offrir une meilleure équité aux utilisateurs, moins de latence et une connectivité massive plus élevée. NOMA est également compatible avec les systèmes de communication actuels et futurs car il ne nécessite pas de modifications importantes sur l'architecture existante. Par exemple, NOMA a été inclus dans le projet de partenariat de troisième génération à évolution à long terme avancé (3GPP LTE version 13). [35]

II.6. Limites du NOMA : Diverses limitations et problèmes de mise en œuvre doivent être résolus pour exploiter pleinement les avantages de NOMA, tels que :

- 1) Chaque utilisateur doit décoder les informations de tous les autres utilisateurs avec des gains de canal inférieurs (qui sont dans le même cluster) avant de décoder les siens informations [36], entraînant une complexité du récepteur et une consommation d'énergie supplémentaires par rapport à l'OMA.
- 2) Lorsqu'une erreur se produit dans SIC chez un utilisateur, le décodage ultérieur de toutes les informations des autres utilisateurs sera probablement effectué de manière erronée. Cela implique de maintenir le nombre d'utilisateurs dans chaque cluster à un niveau raisonnablement bas pour réduire l'effet de la propagation des erreurs.
- 3) Pour obtenir les avantages revendiqués du multiplexage dans le domaine de puissance, une différence considérable de gain de canal entre les utilisateurs forts et faibles est nécessaire. Cela limite intuitivement le nombre effectif de paires d'utilisateurs, ce qui réduit à son tour le gain de débit total de NOMA.
- 4) Chaque utilisateur doit renvoyer ses informations de gain de canal à la BS, et NOMA est intrinsèquement sensible à l'incertitude dans la mesure de ce gain [37].

II.7. Comparaison entre NOMA et OMA : Dans OMA, chaque utilisateur est autorisé à utiliser des ressources de communication orthogonales sur un créneau horaire, une bande de fréquences ou un code pour offrir une protection contre les interférences d'accès multiple. Les générations précédentes de réseaux avaient recours à de tels systèmes : FDMA pour 1G, TDMA pour 2G, CDMA pour 3G et OFDMA pour 4G. D'autre part, dans NOMA, plusieurs utilisateurs peuvent partager des ressources non orthogonales en même temps, ce qui permet à l'utilisateur de bénéficier d'une forte efficacité spectrales et autorise des interférences d'accès multiples au niveau du récepteur.

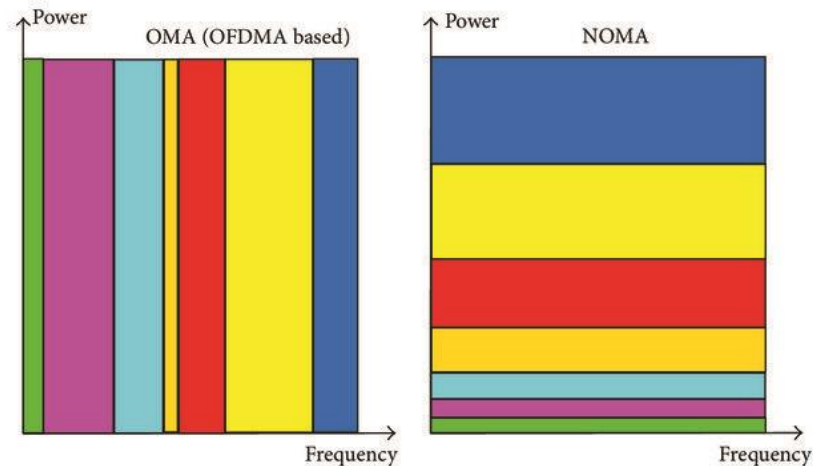


Figure 2.4: *Comparaison entre NOMA et OMA* [38]

En général, les schémas NOMA sont divisés en deux types: Power Domain Multiplexing et Code Domain Multiplexing. Le multiplexage du domaine de l'énergie est facile à mettre en œuvre, car pour cela, aucun changement radical n'est requis pour les réseaux existants. Et il ne nécessite pas non plus de bande passante supplémentaire, car pour augmenter l'efficacité spectrale, ce n'est pas tout à fait correct. D'autre part, le multiplexage dans le domaine du code a le potentiel d'augmenter cette valeur. Aussi, il nécessite une bande passante de transmission élevée et n'est pas facilement applicable aux systèmes actuels [35].

II.8. Beamforming :

La beamforming est une fonction essentielle du 5G, maximisant la capacité et couverture réseau en envoyant des signaux radio ciblés vers des utilisateurs ou des zones spécifiques. C'est utiliser des signaux pour transmettre par l'intermédiaire des réseaux d'antennes à éléments multiples afin de recevoir les faisceaux étroits dirigés et dynamiquement ajustables en temps réel. [39]

- **Beamforming en liaison descendante :** En transmission descendante, la mise en forme de faisceaux sert à la station de base (BS) pour l'envoi des signaux aux usagers désignés. En modifiant de manière dynamique la phase et la force des signaux sur le réseau d'antennes, la BS parvient à générer des faisceaux très concentrés, orientés vers des zones ou usagers particuliers. Ceci aboutit à une amélioration de la puissance du signal, une diminution des interférences et une meilleure qualité du signal pour les usagers ciblés. La mise en forme de faisceaux en transmission

descendante contribue à l'amélioration de la couverture et de la capacité du réseau en fournissant un signal plus fort et plus fiable à des endroits ou des usagers bien précis. [39]

- **beamforming montante** : Pour l'envoi de données, votre appareil communique avec l'antenne-relais en utilisant une technique particulière appelée formation de faisceaux. Un peu comme cela se fait en réception, votre téléphone ajuste finement la façon dont il envoie le signal via ses antennes, en jouant sur le timing et la force du signal. L'astuce, c'est de créer un "faisceau" qui pointe directement vers la station de base. Cela booste l'efficacité de l'envoi, car au lieu de diffuser l'énergie dans tous les sens, on la concentre là où c'est utile, ce qui améliore la clarté du signal et réduit les soucis d'interférences. Le résultat ? Un réseau plus performant et une expérience utilisateur améliorée. [39]

II.8.1. Les types du beamforming :

II.8.1.1. beamforming analogique :

Avec le beamforming analogique, un signal identique est envoyé à chaque antenne, et des déphaseurs analogiques ajustent ensuite la direction du signal émis. Le contrôle des faisceaux s'effectue via ces déphaseurs, qui émettent un signal similaire depuis diverses antennes, mais avec des phases distinctes. Bien que son prix soit avantageux, elle ne permet qu'une transmission à flux unique. Une contrainte majeure, et le principal inconvénient, est qu'il est impossible d'appliquer des pondérations différentes pour la formation de faisceaux selon les utilisateurs, limitant ainsi à un seul faisceau à la fois. [40]

II.8.1.2. beamforming numérique :

Le beamforming numérique offre la possibilité de façonner des signaux sur mesure pour chaque antenne au sein de la bande de base numérique. Chaque antenne se voit ainsi attribuer une chaîne RF dédiée. Cette approche rend la formation de faisceau numérique particulièrement attrayante pour le multiplexage spatial, une technique permettant d'émettre une superposition de signaux, chacun ciblant une direction bien spécifique. [40]

II.8.1.3. beamforming hybride :

Le beamforming hybride, c'est un peu comme mélanger deux techniques : le beamforming numérique et l'analogique. En gros, on fait une partie du travail avec des processeurs numériques en bande de base, et l'autre partie avec des formateurs de faisceaux RF

analogiques. L'astuce, c'est qu'on a généralement moins de TRX et de chaînes RF dans l'antenne qu'il n'y a d'antennes physiques.

L'idée derrière le beamforming hybride, c'est surtout de limiter le nombre de ces fameuses chaînes RF. Ça permet de consommer moins d'énergie, de simplifier la conception et, au final, de réduire les coûts. C'est d'ailleurs la méthode privilégiée quand on travaille avec les ondes millimétriques. [40]

II.8.2. Les avantages du beamforming :

- **Couverture améliorée** : En orientant les ondes vers des usagers ou des lieux précis, le beamforming optimise la portée en concentrant la puissance émise là où c'est crucial. Ceci aide à étendre l'envergure du réseau et à procurer une connectivité supérieure dans des endroits qui, sinon, endureraient des signaux amoindris ou un réseau insuffisant.
- **Capacité accrue** : Le beamforming optimise l'usage du spectre en canalisant l'énergie émise vers des points précis. Cette approche rend possible l'envoi simultané de divers flux, chacun ciblant des usagers ou lieux distincts. De ce fait, la capacité du réseau s'en trouve augmentée, supportant un nombre accru d'abonnés et d'équipements.
- **Interférences réduites** : En aiguillant précisément le signal vers des utilisateurs ou secteurs désignés, le beamforming réduit les perturbations occasionnées par d'autres signaux ou cellules proches. Cela se traduit par une qualité de signal accrue, une diminution du bruit ambiant, et une optimisation des performances globales du réseau.
- **Qualité du signal améliorée** : La formation de faisceaux aide à contourner les pertes de propagation, les affaiblissements et d'autres soucis de propagation en orientant les signaux émis précisément là où ils doivent aller. Grâce à cela, la force du signal, le rapport signal sur bruit (SNR) et la qualité générale du signal s'en trouvent améliorés pour les utilisateurs concernés, ce qui se traduit par une expérience utilisateur plus agréable et des débits de données plus performants. [39]

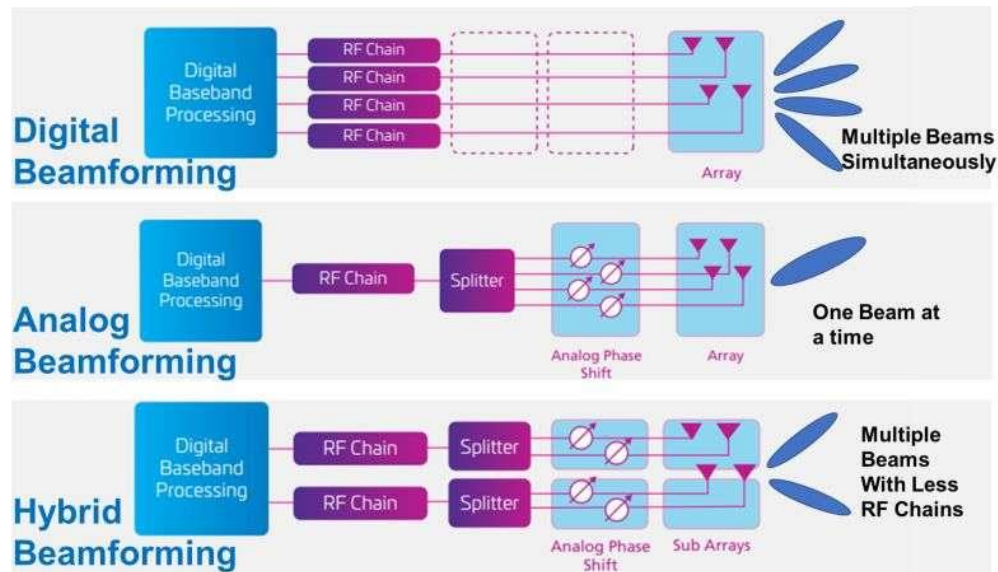


Figure 2.5 : structure des types de beamforming [40]

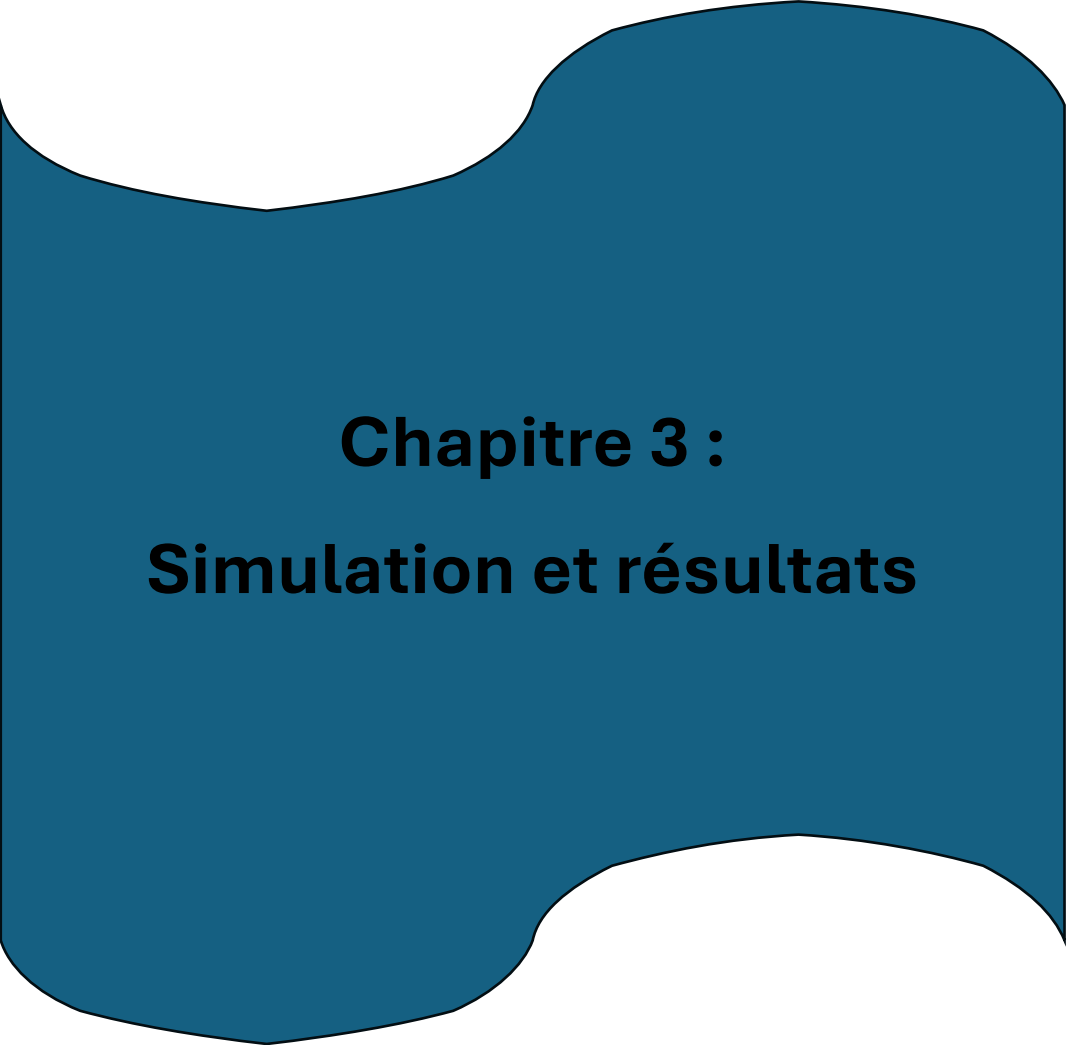
II.9. Conclusion :

L'un des principaux défis dans la transmission à haute vitesse est la gestion des effets de multipath (trajets multiples) qui provoquent des interférences intersymboles (ISI). La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) apparaît comme une solution efficace pour ces problèmes. Elle divise la bande passante totale en plusieurs sous-porteuses orthogonales, permettant ainsi une transmission parallèle de données sur ces sous-canaux indépendants. Pour éviter les interférences entre symboles dues aux trajets multiples, un préfixe cyclique (ou intervalle de garde) est ajouté au début de chaque symbole OFDM. Ce préfixe est une copie du segment final du symbole, et sa durée est choisie supérieure au retard maximum du canal, garantissant ainsi la suppression des ISI.

Le NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) est une technique d'accès multiple émergente qui permet à plusieurs utilisateurs de partager les mêmes ressources temporelles et fréquentielles en utilisant la superposition des signaux avec des puissances différentes.

Contrairement aux systèmes orthogonaux classiques (comme OFDMA), NOMA améliore la capacité spectrale et la justice dans l'allocation des ressources. NOMA est applicable non seulement aux systèmes SISO (Single Input Single Output), mais aussi aux systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output), où il peut être combiné avec des techniques avancées telles que le beamforming. Le beamforming dans NOMA permet de diriger les faisceaux vers les utilisateurs spécifiques, améliorant la qualité du signal et la capacité globale du système.

Les applications de NOMA s'étendent aux réseaux 5G et au-delà, ainsi qu'à des systèmes de communication émergents comme les communications en ondes millimétriques et les systèmes d'éclairage visible. Cependant, pour rendre NOMA pleinement opérationnel, il faut surmonter des défis liés à la propagation des erreurs, à la gestion de l'interférence inter-cellulaire et à la complexité de la détection multi-utilisateurs.



Chapitre 3 :

Simulation et résultats

III.1. Introduction :

Les réseaux sans fil de nouvelle génération (5G et au-delà) visent des débits très élevés et une très grande densité d'utilisateurs, ce qui impose d'améliorer l'efficacité spectrale au-delà des accès multiples orthogonaux classiques (OMA). Par ailleurs, l'accès non orthogonal (NOMA) a émergé comme solution prometteuse pour permettre à plusieurs utilisateurs de partager les mêmes ressources temporelles et fréquentielles en superposant leurs signaux dans le domaine de la puissance. Concrètement, en NOMA chaque signal-utilisateur est transmis avec un niveau de puissance distinct, puis au récepteur on utilise la détection par annulation successive d'interférence (SIC) pour démixer les couches utilisateurs. Comparé à l'OMA, le NOMA peut améliorer le débit global et l'équité entre utilisateurs du fait de la superposition de signaux et du décodage séquentiel. Par conséquent, ce projet simule les performances de NOMA dans différents scénarios de déploiement définis par 3GPP TR 38.901. (Environnements UMi, UMa, InH et RMa). Nous utilisons la modulation 16-QAM, Ingénierie de beamforming hybride (étages analogiques + prétraitement numérique MMSE) et algorithme Dynamique d'allocation de puissance dans NOMA. L'objectif est d'évaluer puis d'analyser les performances de plusieurs utilisateurs dans ces scénarios.

III.2. Simulation combinant les techniques NOMA et beamforming:

Pour comparer les performances du NOMA et du beamforming dans les modèles à 4 canaux, nous avons utilisé le modèle 3GPP TR 38.901. Dans cette simulation, nous utilisons le langage Python.

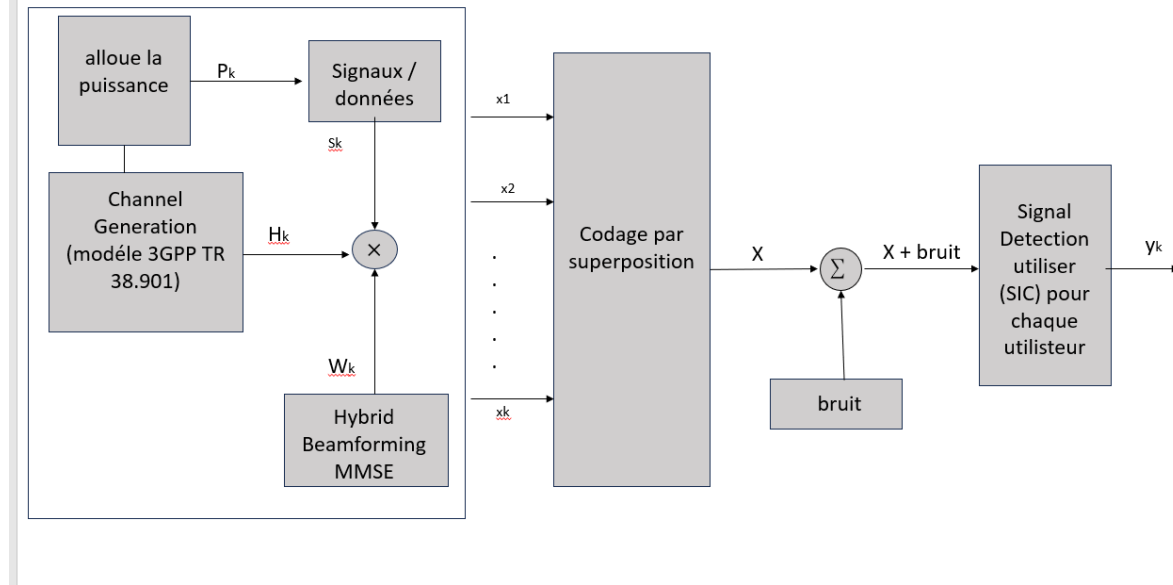


Figure 3.1 le bloc diagramme du simulation.

Modèles de canaux 3GPP TR 38.901 :

Il s'agit d'une simulation du canal de communication sans fil entre la station de base (BS) et les utilisateurs (UE), reflétant les caractéristiques de l'environnement (urbain, intérieur, rural, etc.) à l'aide de modèles approuvés par 3GPP TR 38.901. [39].

Un canal de communication sans fil se compose de trois composants principaux :

-Perte de trajet : représente la perte de signal due à la distance.

$$PL = X + 20 \cdot \log(f) + n \cdot 10 \cdot \log(d) \quad III.1$$

X : L'impact des facteurs environnants

n : Facteur de perte d'atténuation. (Spécifique à l'environnement)

-Évanouissement à petite échelle: Résultat des réflexions, de la diffusion et de la réfraction. Il est généralement représenté par :

- Évanouissement de Rayleigh (en l'absence de trajet direct) (NLOS).
- Évanouissement de Rice (en présence d'un trajet direct).(LOS).

Facteur K de Rician : exprime le rapport entre la puissance en visibilité directe et la puissance diffusée.

$$K = \frac{P_{los}}{P_{nlos}} \quad III.2$$

Plus le facteur K est élevé, plus l'effet LOS est important.

UMi (K) = 3.

UMa (K) = 2.

InH (K) = 5.

RMa (K) = 1.

- **UMi :**

Les BS sont installés sous les toits des bâtiments environnants. L'espace ouvert de l'UMi est conçu pour capturer des scénarios réels, tels qu'une ville ou une place de gare. La largeur typique d'un espace ouvert est de l'ordre de 50 à 100 m.

- **UMa :**

Là où les BS sont installés au-dessus des toits des bâtiments environnants. La largeur typique d'une zone ouverte est de l'ordre de 100 à 500 m.

- **InH :**

Ce scénario vise à illustrer divers scénarios de déploiement intérieur courants, notamment dans les bureaux et les centres commerciaux. Un environnement de bureau typique est composé de box ouverts, cloisonnés.

- **RMa :**

Le scénario de déploiement rural privilégie une couverture étendue et continue. Ses principales caractéristiques sont une couverture étendue et continue. plus de 1000 m]

générer les canaux :

- Tout d'abord, calculez la perte de trajet pour chaque environnement à l'aide de l'équation : (III.1)
- **Créer des composants LOS et NLOS :**

$$H_{los} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{III. 3}$$

$$H_{nlos} = (x + j.y) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{III. 4}$$

H_{los} : Une direction pour chaque les utilisateurs.

H_{nlos} : Plusieurs directions pour chaque utilisateur

- Canal final par type d'environnement :

$$H = \sqrt{\frac{K}{K+1}} \cdot H_{los} + \sqrt{\frac{K}{K+1}} \cdot H_{nlos} \quad \text{III. 5}$$

- La perte de trajet final est appliquée au canal :

$$H = \sqrt{PL} \cdot H \quad \text{III. 6}$$

Génération de beamforming hybride MMSE (erreur quadratique moyenne minimale) :

Un émetteur hybride à beamforming combine :

-beamforming analogique : mise en œuvre à l'aide de déphaseurs dans la gamme des ondes millimétriques.

-beamforming numérique : mise en œuvre après conversion des données numériques (bande de base).

Ceci offre une grande flexibilité tout en réduisant le nombre de chaînes RF, ce qui permet d'économiser de l'énergie et de réduire les coûts.

- Analyse des canaux par SVD :

Nous analysons le canal H par décomposition en valeurs singulières (SVD).

$$\text{SVD}(H) = [U, S, V] \quad \text{III. 6}$$

Les premières colonnes de V serviront à choisir les directions de transmission les plus fortes.

- Configuration active du canal après le réglage analogique :

Nous créons un canal efficace pour chaque utilisateur en multipliant la matrice de canaux H et V pour déterminer la direction de chaque canal vers chaque utilisateur.

$$W_{\text{analog}} = H \times V \quad \text{III. 7}$$

- Conception de contrôle numérique MMSE :

Nous concevons un ajustement numérique qui minimise l'erreur entre le signal transmis et reçu en présence de bruit, en utilisant la formule :

$$W_{\text{digital}} = \frac{W'_{\text{analog}} \cdot W_{\text{analog}} + \text{noise} \cdot I}{W_{\text{analog}}} \quad \text{III. 8}$$

W'_{analog} : matrice inverse de W_{analog} .

I : Matrice d'identité pour préserver les valeurs lorsque les valeurs sont inversées

- Intégration de la technologie analogique et numérique :

$$W = W_{\text{analog}} \times W_{\text{digital}} \quad \text{III. 9}$$

Générer un signal numérique représentant les données utilisateur :

Génération de données aléatoires (bits) et leur modulation à l'aide de QAM 16 bits (chaque symbole comporte 4 bits) . nous convertissons chaque groupe de bits en un symbole complexe.

Chaque symbole est représenté par une paire de coordonnées :

$$S_k = \alpha_k + j. \beta_k \quad \text{III. 10}$$

$$\alpha_k, \beta_k \in [-3, -1, 1, 3]$$

Répartition du pouvoir dans NOMA :

Dans un système NOMA (accès multiple non orthogonal), la même ressource temps/fréquence est partagée entre deux ou plusieurs utilisateurs.

Pour que le récepteur (utilisateur) puisse séparer les signaux interférents, différentes puissances de transmission sont attribuées aux utilisateurs en fonction de leurs conditions.

Une plus grande capacité est allouée à l'utilisateur faible (canal le plus éloigné ou le plus faible) et une plus petite à l'utilisateur fort (canal le plus proche ou le plus fort). Cela contribue à améliorer l'équité entre les utilisateurs. Activez la technologie SIC (Successive Interference Cancellation).

- **Déterminer le gain effectif du canal**

Pour chaque utilisateur i , le gain combiné entre le canal et le beamforming hybride est calculé :

$$G_k = |H_k \cdot W| \quad \text{III. 11}$$

H_i : le canal d'utilisateur i

- **Calcul du rapport de gain de canal :**

$$G_{\text{ratio}} = \frac{G_1}{G_2} \quad \text{III. 12}$$

G_1 = le gain d'utilisateur 1 .

G_2 = le gain d'utilisateur 2 .

L'utilisateur 1 est plus puissant $\Rightarrow$ On lui attribue moins d'énergie.

L'utilisateur 2 est plus puissant $\Rightarrow$ On lui attribue moins d'énergie.

Signal NOMA transmis :**- Codage par superposition :**

Dans NOMA, les signaux des utilisateurs sont transmis au même moment et à la même fréquence, mais avec une puissance différente.

$$\mathbf{x} = \mathbf{s1} \cdot \sqrt{p1} + \mathbf{s2} \cdot \sqrt{p2} \quad \text{III. 13}$$

$s1, s2$: les signaux d'utilisateurs .

$p1, p2$: la puissance d'utilisateurs .

- Envoi du signal via le canal avec beamforming :

$$\mathbf{y} = \mathbf{W} \cdot (\mathbf{H1} \mathbf{s1} \cdot \sqrt{p1} + \mathbf{H2} \cdot \mathbf{s2} \cdot \sqrt{p2}) + \text{noise} \quad \text{III. 14}$$

- Réception du signal et application SIC :

Il s'agit de l'étape de décodage du signal dans le système NOMA, où le signal reçu pour chaque utilisateur est analysé et la technique d'annulation des interférences successives (SIC) est utilisée pour extraire ses données.

- Pour l'utilisateur 1 (expérimenté) :

Premièrement : il apprécie le signal de l'utilisateur 2 (faible) $s2$.

Deuxièmement : il remodule ce signal en utilisant QAM.

Troisièmement : soustrayez-le du signal reçu :

$$\mathbf{y1} = \mathbf{y} - \mathbf{s2} \cdot \mathbf{H2} \quad \text{III. 15}$$

après cela:

$$\mathbf{y1} = \mathbf{s1} \cdot \mathbf{H1} + \text{bruit} \quad \text{III. 16}$$

- Pour un utilisateur faible :

Il ne peut pas annuler les signaux des autres utilisateurs (car son canal est faible).

Il essaie donc uniquement de détecter son propre signal parmi le signal global.

$$\mathbf{y2} = \mathbf{s2} \cdot \mathbf{H2} + (\mathbf{s1} \cdot \mathbf{H1} + \text{bruit}) \quad \text{III. 17}$$

L'utilisateur 2 (faible) considère le signal de l'utilisateur fort comme un bruit supplémentaire.

Calculer les performance :

Évaluation des performances d'un système par le calcul d'un ensemble d'indicateurs de performance :

- **Rapport signal/interférence et bruit (SINR) – Rapport signal/interférence et bruit.**

- Dans le cas de l'utilisateur 1 (puissant) :

$$\text{SINR1} = \frac{\sqrt{p1} \cdot |W \cdot H1|}{\sqrt{p2} \cdot |W \cdot H2| + \text{bruit}} \quad \text{III. 18}$$

- Dans le cas de l'utilisateur 2 (faible) :

$$\text{SINR2} = \frac{\sqrt{p2} \cdot |W \cdot H2|}{\sqrt{p1} \cdot |W \cdot H1| + \text{bruit}} \quad \text{III. 19}$$

- **Taux d'erreur binaire (BER) – Taux d'erreur binaire.**

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad \text{III. 20}$$

- **Efficacité spectrale (SE) – Efficacité spectrale.**

$$\text{SE} = \log_2(1 + \text{SINR}) \cdot (1 - \text{BER}) \quad \left(\frac{\text{bits}}{\text{Hz}}\right) \quad \text{III. 21}$$

- **Débit – Débit de données réel.**

$$D = B \cdot SE \quad (bps) \quad \text{III. 22}$$

- **Efficacité énergétique (EE) – Efficacité énergétique.**

$$EE = \frac{D}{p_{total}} \quad \left(\frac{\text{bits}}{\text{joule}}\right) \quad \text{III. 23}$$

- **Latence – Délai total.**

$$L = T_{tr} + T_{prop} + T_{pros} \quad (ms) \quad \text{III. 24}$$

T_{tr} : Retard de transmission .

T_{pros} : Retard de traitement .

T_{prop} : Retard de propagation .

III.3. Résultats de simulation :

- SINR:

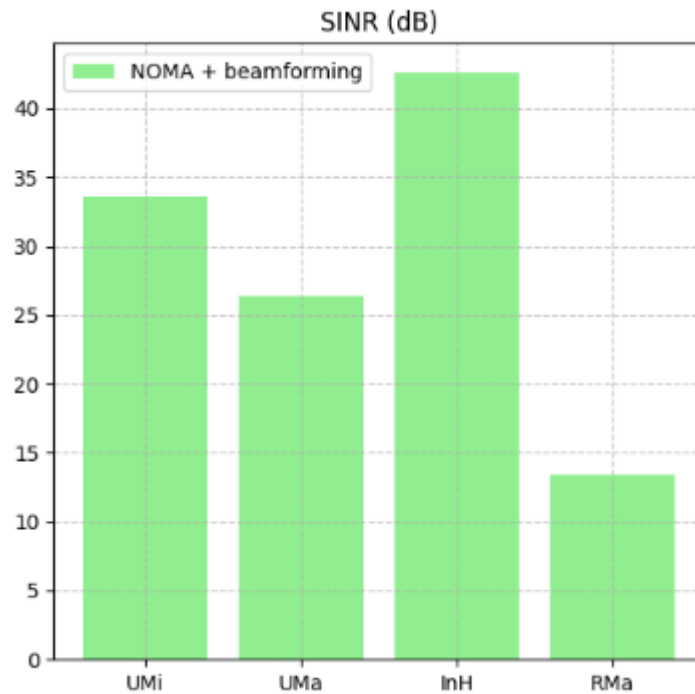


Figure 3 2 le SINR en UMi, UMa, InH, RMa.

La figure montre les valeurs SINR moyennes dans quatre environnements : UMi, UMa, InH et RMa, où :

- En InH : les valeurs SINR sont d'environ ~43 dB, indiquant un rapport signal/interférence et bruit élevé en raison de la combinaison de NOMA et beamforming, ce qui réduit les interférences entre les utilisateurs et augmente la force du signal pour les utilisateurs avec des canaux faibles.
- Dans UMi, les valeurs SINR sont d'environ ~34 dB, et dans UMa, les valeurs SINR sont d'environ ~26 dB, ce qui indique une diminution du rapport signal/interférence et bruit en raison d'une perte de trajet accrue due à des distances accrues entre les utilisateurs et des réflexions provenant de facteurs externes, ce qui rend la beamforming de faisceau un peu plus difficile et augmente les interférences.
- En RMa : les valeurs SINR inférieures à ~14 dB indiquent une dégradation de la force du signal par rapport à InH, UMi et UMa en raison des grandes distances des utilisateurs, de la

diminution du nombre d'utilisateurs et des réflexions provenant de facteurs externes, ce qui a un impact négatif sur les performances NOMA avec la beamforming.

- **BER:**

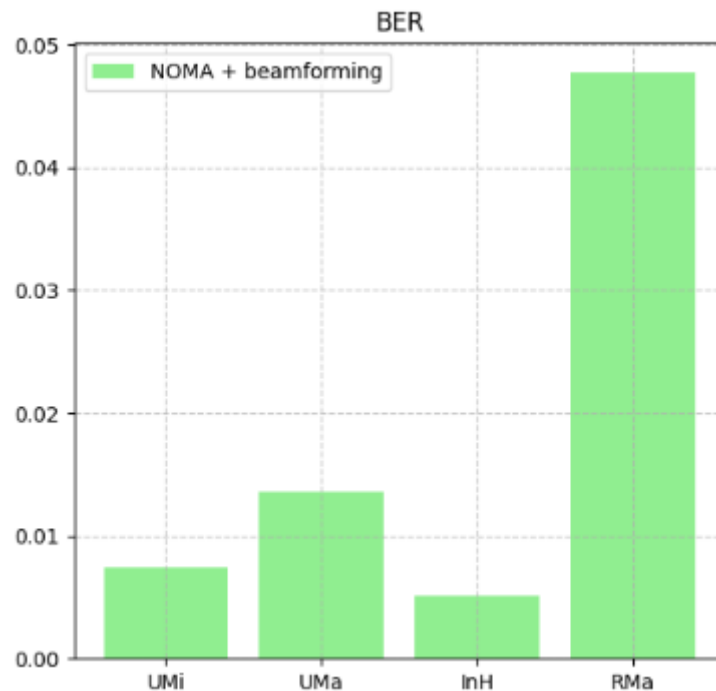


Figure 3 3 le BER en UMi, UMa, InH, RMa

La figure montre les valeurs BER moyennes dans quatre environnements : UMi, UMa, InH et RMa, où :

- En InH et UMi : les valeurs BER indiquent 0,005 à 0,0064. Cela est dû aux valeurs SINR élevées dues à l'utilisation de la beamforming qui concentre le signal et les données vers chaque utilisateur, ce qui réduit les interférences entre les signaux et donc les interférences entre les bits.

- En UMa, il est supérieur d'environ 0,014 à InH et UMi. Cette légère augmentation est due à l'augmentation des distances et à une légère perte de trajet qui affecte les valeurs du SINR, augmentant ainsi les interférences entre les bits.

-Dans RMa, les valeurs BER sont supérieures à 0,04. Cette augmentation est due à des valeurs SINR plus faibles, qui augmentent l'interférence entre les bits.

- **Efficacité spectrale :**

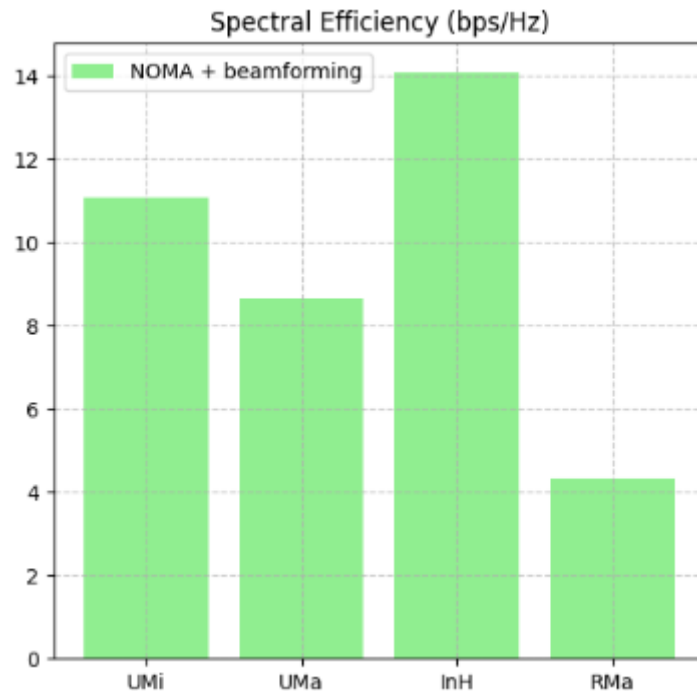


Figure 3 2 L'efficacité spectrale en UMi ,UMa ,InH ,RMa

La figure montre l'efficacité spectrale dans quatre environnements : UMi, UMa, InH et RMa, où :

-En InH, l'efficacité spectrale est élevée, dépassant 14 bits/Hz. C'est une caractéristique clé de NOMA, notamment grâce à l'intégration de la technologie de beamforming, qui améliore le partage des ressources et met l'accent sur la qualité de la modulation 16-QAM, permettant une transmission à débit binaire élevé

- En UMi l'efficacité spectrale est inférieure à celle d'InH, soit environ 11 bits/Hz, mais elle reste excellente en raison du grand nombre de bits par Hz.

- En UMa, l'efficacité spectrale est plus faible, soit environ 8 bits/Hz, en raison de la détérioration de la qualité de la modulation 16-QAM, et c'est ce que montrent les valeurs BER dans cet environnement.

- En RMA, l'efficacité spectrale est d'environ 5 bits/Hz en raison de la nature de l'environnement qui provoque un effet sur la modulation 16 QAM, ce qui conduit à une augmentation du taux d'erreur binaire, et donc au nombre de bits par Hz qui diminue.

- **Débit de données:**

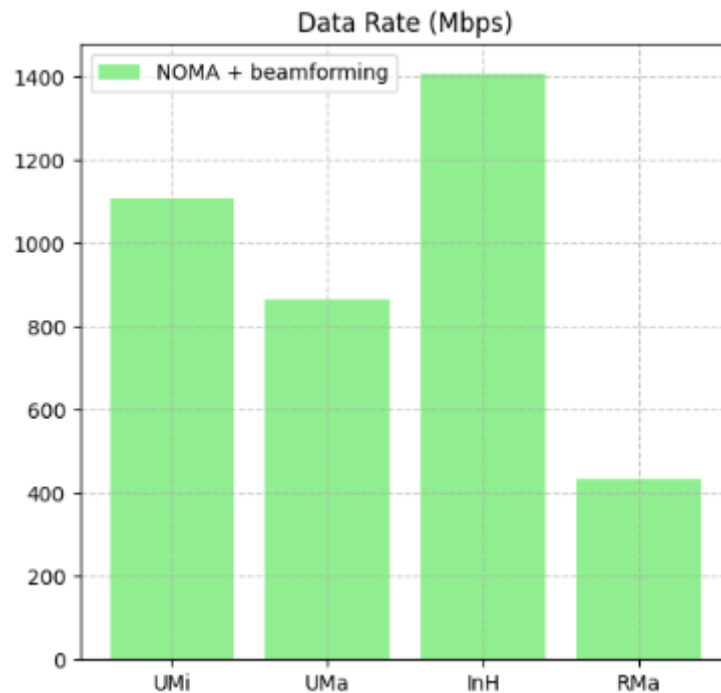


Figure 3 3 le Débit de données en UMi, UMa, InH, RMa.

La figure montre le débit de données dans quatre environnements : UMi, UMa, InH et RMa, où :

En InH, les débits de données 1,4 Gbit/s. Cette augmentation est due à la puissance du signal, à une efficacité spectrale élevée et à la technologie NOMA, qui repose sur le partage des ressources entre deux ou plusieurs utilisateurs, garantissant ainsi des débits plus élevés.

En UMi et UMa, le débit de données varie de 1,1 Gbit/s à 800 Mbit/s. Ce débit est inférieur à celui de l'InH, mais reste considéré comme satisfaisant. Cela s'explique par les raisons mentionnées précédemment : un rapport signal sur bruit (SINR), un taux d'erreur binaire (BER) et une efficacité spectrale inférieurs.

- Dans RMA, le débit de données est d'environ 500 Mbps en raison de la faible intensité du signal (SINR) dans cet environnement et du BER élevé, ce qui affecte l'efficacité spectrale et donc le débit de données diminue.

- **Efficacité énergétique :**

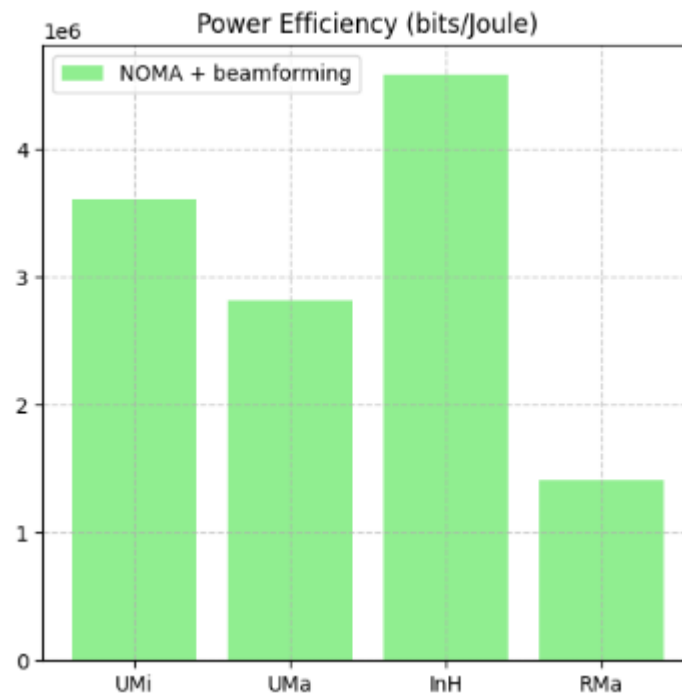


Figure 3 6 L'efficacité énergétique. En UMi ,UMa ,InH ,RMa

La figure montre l'efficacité énergétique dans quatre environnements : UMi, UMa, InH et RMa, où :

L'efficacité énergétique est liée à l'augmentation ou à la diminution du débit de données, c'est-à-dire que l'augmentation du débit de données entraîne une augmentation du nombre de bits par joule et vice versa.

- **Le délai. :**

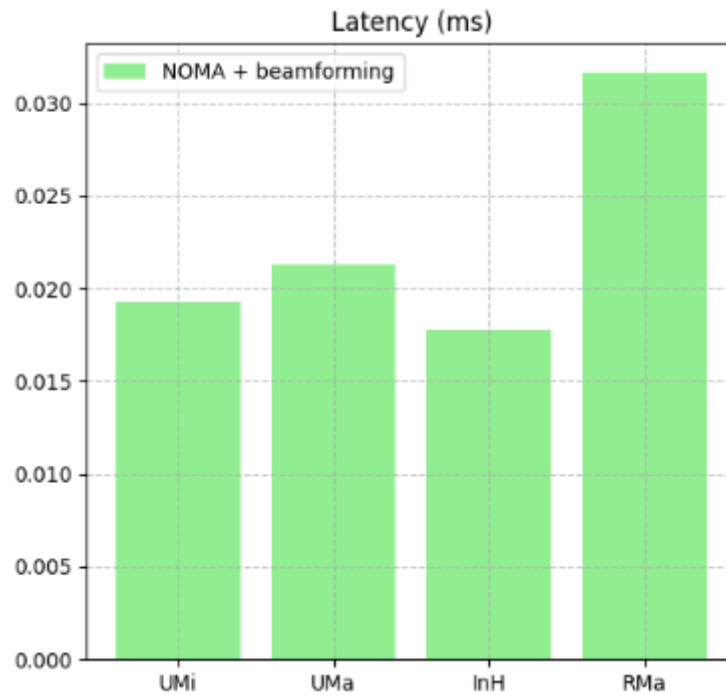


Figure 3 7 e délai en UMi ,UMa ,InH ,RMa

La figure montre le délai dans quatre environnements UMi, UMa, InH, RMa où :

- Dans RMA, le délai est supérieur à 0,02 seconde (2 ms) en raison de la distance qui affecte la force du signal (SINR) et augmente le BER, provoquant un délai de données entre la station émettrice et les utilisateurs.
- Dans InH, UMi et UMa, le délai est compris entre 0,017 et 0,022 seconde, soit 17ms à 22 ms, qui sont de bonnes valeurs pour cette étude en raison de nombreux détails qui peuvent contribuer à réduire ces valeurs.

Performance Metrics for NOMA with beamforming (Specified Number of Users):

Channel Model: UMi (40 users)

SINR (dB): 33.5799

BER: 0.0074

Spectral Efficiency (bps/Hz): 11.0749

Power Efficiency (bits/Joule): 3607471.4444

Data Rate (Mbps): 1107.4937

Latency (ms): 0.0193

Channel Model: UMa (30 users)

SINR (dB): 26.4210

BER: 0.0136

Spectral Efficiency (bps/Hz): 8.6629

Power Efficiency (bits/Joule): 2821794.6574

Data Rate (Mbps): 866.2910

Latency (ms): 0.0213

Channel Model: InH (60 users)

SINR (dB): 42.5866

BER: 0.0051

Spectral Efficiency (bps/Hz): 14.0756

Power Efficiency (bits/Joule): 4584878.7126

Data Rate (Mbps): 1407.5578

Latency (ms): 0.0177

Channel Model: RMa (10 users)

SINR (dB): 13.4477

BER: 0.0477

Spectral Efficiency (bps/Hz): 4.3429

Power Efficiency (bits/Joule): 1414625.7252

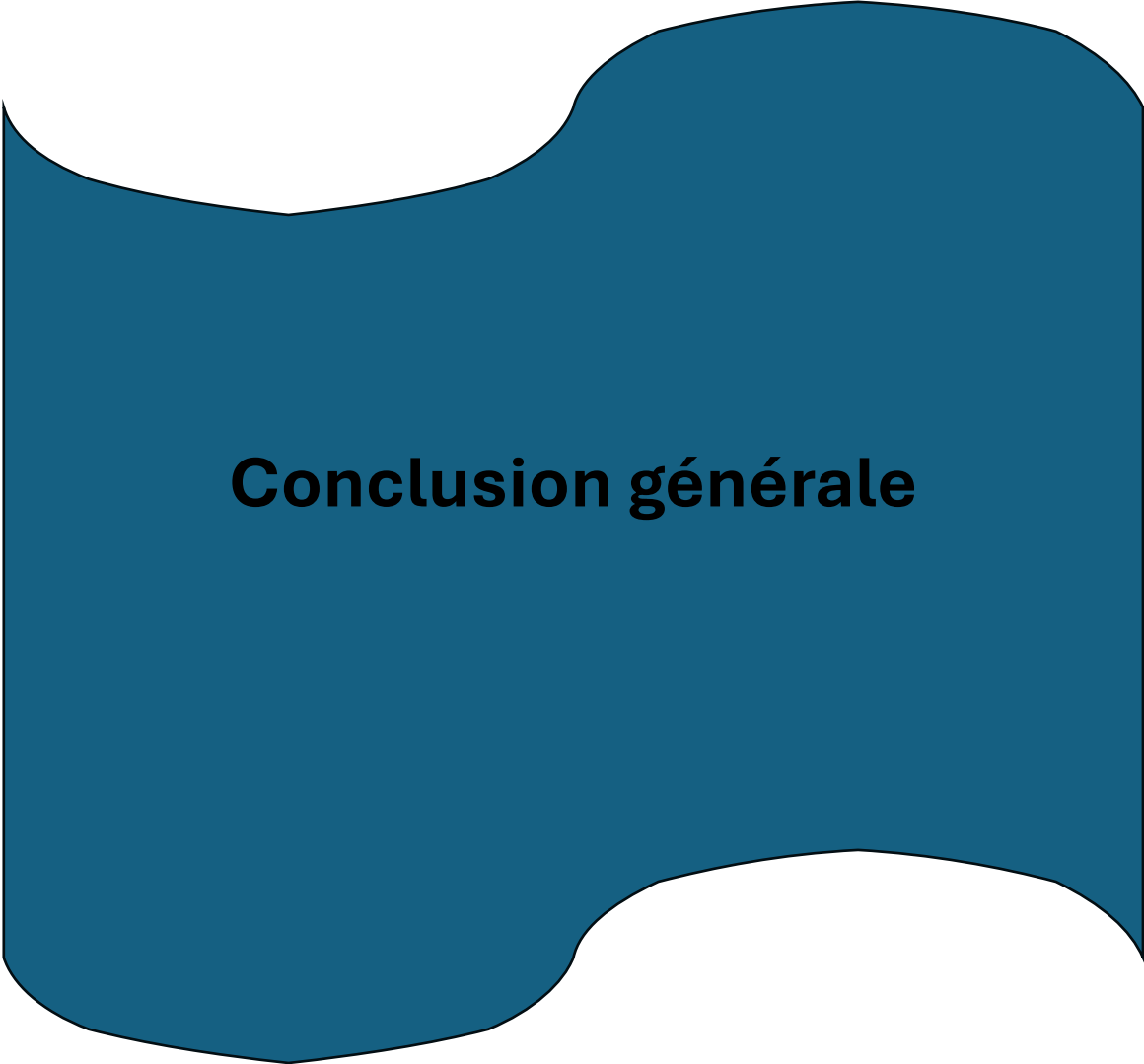
Data Rate (Mbps): 434.2901

Latency (ms): 0.0316

III.3. Conclusion :

Les résultats présentés montrent que la combinaison de NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) et de la formation de faisceaux (beamforming) améliore significativement la puissance du signal, augmente le débit de données, et offre une meilleure efficacité spectrale et énergétique. Cette approche permet également de réduire la latence dans des environnements multi-utilisateurs à petite échelle, tels que les scénarios InH (Indoor Hotspot), UMi (Urban Microcell) et UMa (Urban Macrocell).

Cependant, dans les environnements à plus grande échelle comme le scénario RMa (Rural Macrocell), les performances combinées de NOMA et du beamforming tendent à se dégrader. Cette baisse est principalement due à des facteurs tels que le faible nombre d'utilisateurs, les grandes distances entre la station de base et les utilisateurs, ainsi que la propagation du signal plus difficile dans ces environnements.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Les futures générations de réseaux mobiles, notamment la 5G et au-delà, intégreront très probablement des technologies d'accès multiple non orthogonal telles que le NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) combiné au beamforming. Ces technologies permettent d'améliorer la capacité, l'efficacité spectrale et énergétique des réseaux, tout en supportant un nombre croissant d'utilisateurs.

Dans ce mémoire, le premier chapitre a présenté les architectures et caractéristiques des réseaux 5G ainsi que les technologies clés, notamment NOMA et beamforming. Le second chapitre a détaillé les principes de fonctionnement de ces deux technologies, leurs types, ainsi que les différences entre NOMA et les accès orthogonaux classiques (OMA, comme OFDMA). Le troisième chapitre a porté sur la simulation de l'intégration de NOMA et beamforming dans les modèles de canaux 3GPP TR 38.901, couvrant les bandes millimétriques (mmWave) et sub-6 GHz.

Les résultats obtenus montrent que la combinaison de NOMA et beamforming offre de bonnes performances dans les environnements à petite échelle (InH) avec un grand nombre d'utilisateurs. Cette combinaison permet d'obtenir un rapport signal sur interférence et bruit (SINR) élevé, une réduction significative du taux d'erreur binaire (TEB), une meilleure efficacité spectrale et énergétique, ainsi que des débits dépassant 1 Gbit/s avec une latence acceptable. En revanche, dans les environnements à grande échelle (RMa) caractérisés par un faible nombre d'utilisateurs et de grandes distances, les performances des deux technologies diminuent notablement.

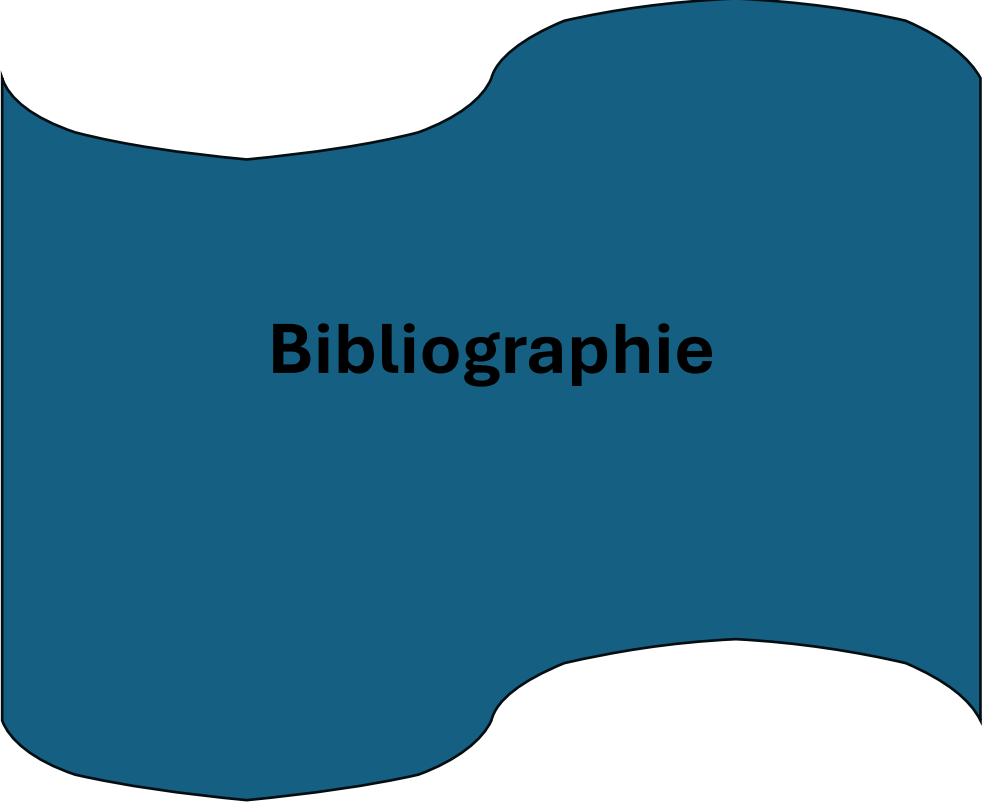
Perspectives de travaux futurs :

- **Optimisation avancée de l'allocation de puissance et du pairing utilisateurs :** Le développement d'algorithmes intelligents, notamment basés sur l'apprentissage automatique, pourrait permettre une allocation dynamique et optimale des ressources, améliorant ainsi les performances globales du système NOMA avec beamforming.

- **Sécurité et fiabilité** : Intégrer des mécanismes de sécurité physique dans les transmissions NOMA et beamforming, afin d'assurer la robustesse face aux attaques d'interception, de brouillage ou d'autres menaces.

- **Intégration avec les architectures émergentes** : Étudier la compatibilité et l'intégration de NOMA et beamforming avec les réseaux 6G, les systèmes massifs MIMO, et les communications ultra-fiables à faible latence.

En somme, la synergie entre NOMA et beamforming ouvre de nombreuses opportunités pour améliorer les performances des réseaux mobiles actuels et futurs. Les travaux futurs devront se concentrer sur l'optimisation algorithmique, la robustesse pratique et la gestion efficace des interférences afin de relever les défis liés à la complexité et à la connectivité massive.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] M. b. s. R. Melle bouchentouf hadjer, *etude des proformances des reseaux 4G(LTE)*, Telemcen: université abi bakr blkakaid, 2012-2013, pp. pages 5-9.
- [2] s. i. Mme Taleb et I. Melle Boudina, "*Developement d'un outil d'optimisation pour l'allocation des frequences dans le reseau GSM*", Telemcen: Université Abi bakr belakaid, 2012/2013, pp. pages 3-6.
- [3] T. Abdoulaye, *Etude détaillée de l'architecture d'un réseau 3G dans le cadre d'une migration depuis un réseau GMS*, Tunisie : Cas de telecel Faso, ecole polytechnique de Tunisie, 2011-2012.
- [4] E. Networld2020, "*5G Challenges, research priorities, and recommendations*", Joint white paper, 2014.
- [5] Torres F, E. kerhervé et A. Cathelin, "*5G tendances et perspectives pour la conception d'amplificateur de puissance*".
- [6] J. Lausson, "*5G tout comprendre au réseau mobile du futur en 10 questions*", 2020.
- [7] K. Trillingsgaard, P. Popovski, O. Simeone et G. Durisi, "*5G wireless networkslicing for eMBB, URLLC, and mMTC A communication-theortic view*", IEEE Access, 2018.
- [8] Ericasson, "*5G systems 5G for humans and machines use cases and requirements*", white Pap, 2017, pp. vol 284, no rev B.
- [9] N. Hellal et S. Harbi , "*etude et conception d'un système d'antenne large bande pour les application 5G*", Telmcen: université aboubakr blkaid, 2021-2022, pp. pages 8-12.
- [10] X. Lagrange, "*Explorer la 5G*", <https://www.fun-mooc.fr>, 2020.
- [11] M. Dehemchi et A. Bouhafer, "*etude et analyse de méthodes de beamforming pour des systemes Multi-utilisateurs*", Guelma: université 8 mai 1945, 2019.
- [12] A. Detti, "*5G Italy White eBook Functional Architecture*, Rome: university of Rome tor vergata,s.d.
- [13] «frandroid,» mai 2020. [En ligne]. Available: <https://www.frandroid.com>.
- [14] Fehizoronia et O. Ratsimbazafy, *Memoire Master, " etude des formes d'ondes utilisees en 5G NR"*, 2019.

- [15] " les avantages du mimo massif pour l'infrastructure cellulaire 5G",
<https://resources.altium.com>, 2017.
- [16] L. Ying , S. Xiufang, H. shibo et S. Zhiguo, " *Prospective positioning architecture and technologies in 5G Networks*", s.d.
- [17] a. o. Fatimah et R. Shubair , *Millimeter-Wave Mobile communications for 5G challenges and opportunities*, UAE: Khalifa University s.d.
- [18] " *NOMA in 5G systems exciting possibilities for enhancing spectral efficiency*",
[futurenetworks.ieee: https://futurenetworks.ieee.org/](https://futurenetworks.ieee.org/), 2017.
- [19] S. Hikmet, " *Multiple Access for 5G- A New look on NOMA*", catania, 2018.
- [20] " *Anticipatoins et opportunités 2020 janvier influence de la 5G sur les architectures*",
France, 2020.
- [21] z. Ali, K. Noordin, A. Sali, F. Hashim et M. balfaiah, " *Novel techniques for downlink non-orthogonal multiple access systems*", *Applied Sciences* 10(17), 5892. , 2020.
- [22] i. Riazul , M. Zeng et O. Dobre, " *Non-orthogonal Multiple Access (NOMA): how it meets 5G and beyond*", *arXiv e-prints*, arXiv-1907, 2019.
- [23] Y. Zhang, K. Peng , J. Song et Y. Sun, " *channel coding for NOMA schemes with a JD or SIC receiver* 2017 13th international wireless communications and mobile",
computing conference (IWCMC), 2017.
- [24] J. Choi, " *Minimum power multicast beamforming with superposition coding for multiresolution broadcast and application to NOMA systems*," *IEEE Trans commun*
vol 63, n3, 2015.
- [25] Z. Ding, X. lei, R. karagiannidis, J. Schober et K. Bhargava, " *A survey on non-orthogonal multiple access for 5g networks Research challenges and future trends*," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 10., 2017.
- [26] Y. Saito , " *Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access*",
Dresden, Germany.: *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*.,
2013.
- [27] M. Zeng, A. Yadav, A. Dorber, I. Tsiropoulos et V. Poor, " *Capacity comparison between MIMO-NOMA and MIMO-OMA with multiple users in a cluster*," accepted
with minor revisions in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 2017.
- [28] " *5G radio access: Requirements, concepts and technologies*," tokyo: NTT
DOCOMO, Inc., , 2014.

- [29] "New study item proposal: study on non-orthogonal multiple access for NR", 3GPP, RP-170829,, 2017.
- [30] S. Timotheou et I. Krikidis, "Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems", IEEE Signal Processing Letters, 22(10), 2015.
- [31] Q. Sun, I. chin et Z. Pan, "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems", IEEE Wireless Communications Letters, 4(4), 2015.
- [32] Z. Ding, F. Adachi et H. Poor, "The application of MIMO to nonorthogonal multiple access", IEEE Transactions on Wireless Communications, 15(1), 2016.
- [33] Z. Ding, M. Peng et H. Poor , "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems", IEEE Communications Letters., 2015.
- [34] S. Fletcher, A. Rangan et V. Goyal, *pressed sensing* "On-off random access channels: A compressed sensing framework",
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/7558184/>>, 2009.
- [35] M. Aldababsa et al, "A Tutorial on Nonorthogonal Multiple Access for 5G and beyond", Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.
- [36] L. Zhu, Z. Xiao, X. Xia et W. Oliver, "Millimeter-Wave Communications With NonOrthogonal Multiple Access for B5G/6G," IEEE Access, vol. 7, 2019.
- [37] "Initial views and evaluation results on non-orthogonal multiple access for NR uplink", 2016.
- [38] «Figure - available from: Wireless Communications and Mobile Computing,» [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Downlink-NOMA-network_fig2_326058567.
- [39] «Describe the concept of beamforming in 5G and how it enhances network coverage and capacity,» [En ligne]. Available: <https://telcomaglobal.teachable.com/p/beamforming-in-5g-network-coverage-capacity>.
- [40] «What are the types of Beamforming used in 5G?,» 10 6 2024. [En ligne]. Available: <https://www.5gworldpro.com/blog/2022/04/10/what-are-the-types-of-beamforming-used-in-5g/>.
- [41] O. chabbouh , "Gestion des ressources des réseaux cloud RAN dans un contexte 5G", Tunis: université de carthage école supérieure des communications de tunis ecole doctorale en technologies de l'information et de la communication, 2017.
- [42]

Bibliographie

- [1] M. b. s. R. Melle bouchentouf hadjer, *etude des proformances des reseaux 4G(LTE)*, Telemcen: université abi bakr blkakaid, 2012-2013, pp. pages 5-9.
- [2] s. i. Mme Taleb et I. Melle Boudina, *"Developement d'un outil d'optimisation pour l'allocation des frequences dans le reseau GSM"*, Telemcen: Université Abi bakr belakaid, 2012/2013, pp. pages 3-6.
- [3] T. Abdoulaye, *Etude détaillée de l'architecture d'un réseau 3G dans le cadre d'une migration depuis un réseau GMS*, Tunisie : Cas de telecel Faso, ecole polytechnique de Tunisie, 2011-2012.
- [4] E. Networld2020, *"5G Challenges, research priorities, and recommendations"*, Joint white paper, 2014.
- [5] Torres F, E. kerhervé et A. Cathelin, *" 5G tendances et perspectives pour la conception d'amplificateur de puissance"*.
- [6] J. Lausson, *" 5G tout comprendre au réseau mobile du futur en 10 questions"*, 2020.
- [7] K. Trillingsgaard, P. Popovski, O. Simeone et G. Durisi, *" 5G wireless networkslicing for eMBB, URLLC, and mMTC A communication-theortic view"*, IEEE Access, 2018.
- [8] Ericasson, *" 5G systems 5G for humans and machines use cases and requirements "*, white Pap, 2017, pp. vol 284, no rev B.
- [9] N. Hellal et S. Harbi , *"etude et conception d'un système d'antenne large bande pour les application 5G"*, Telmcen: université aboubakr blkaid, 2021-2022, pp. pages 8-12.
- [10] X. Lagrange, *" Explorer la 5G"*, <https://www.fun-mooc.fr>, 2020.
- [11] M. Dehemchi et A. Bouhafer, *" etude et analyse de méthodes de beamforming pour des systemes Multi-utilisateurs"*, Guelma: université 8 mai 1945, 2019.
- [12] A. Detti, *"5G Italy White eBook Functional Architecture"*, Rome: university of Rome tor vergata,s.d.
- [13] «frandroid,» mai 2020. [En ligne]. Available: <https://www.frandroid.com>.

BIBLIOGRAPHIE

- [14] Fehizoronia et O. Ratsimbazafy, *Memoire Master, " etude des formes d'ondes utilisees en 5G NR"*, 2019.
- [15] *" les avantages du mimo massif pour l'infrastructure cellulaire 5G"*, <https://resources.altium.com>, 2017.
- [16] L. Ying , S. Xiufang, H. shibo et S. Zhiguo, *" Prospective positioning architecture and technologies in 5G Networks"*, s.d.
- [17] a. o. Fatimah et R. Shubair , *Millimeter-Wave Mobile communications for 5G challenges and opportunities*, UAE: Khalifa University s.d.
- [18] *" NOMA in 5G systems exciting possibilities for enhancing spectral efficiency"*, [futurenetworks.ieee: https://futurenetworks.ieee.org/](https://futurenetworks.ieee.org/), 2017.
- [19] S. Hikmet, *" Multiple Access for 5G- A New look on NOMA"*, catania, 2018.
- [20] *"Anticipatoins et opportunités 2020 janvier influence de la 5G sur les architectures"*, France, 2020.
- [21] z. Ali, K. Noordin, A. Sali, F. Hashim et M. balfaiah, *" Novel techniques for downlink non-orthogonal multiple access systems"*, *Applied Sciences* 10(17), 5892. , 2020.
- [22] i. Riazul , M. Zeng et O. Dobre, *"Non-orthogonal Multiple Access (NOMA): how it meets 5G and beyond"*, arXiv e-prints, arXiv-1907, 2019.
- [23] Y. Zhang, K. Peng , J. Song et Y. Sun, *" channel coding for NOMA schemes with a JD or SIC receiver 2017 13th international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC)"*, 2017.
- [24] J. Choi, *"Minimum power multicast beamforming with superposition coding for multiresolution broadcast and application to NOMA systems,"*, *IEEE Trans commun* vol 63, n3, 2015.
- [25] Z. Ding, X. lei, R. karagiannidis, J. Schober et K. Bhargava, *"A survey on non-orthogonal multiple access for 5g networks Research challenges and future trends,"*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 10., 2017.
- [26] Y. Saito , *"Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access"*, Dresden, Germany.: *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*., 2013.
- [27] M. Zeng, A. Yadav, A. Dorber, I. Tsiropoulos et V. Poor, *"Capacity comparison between MIMO-NOMA and MIMO-OMA with multiple users in a cluster,"*, accepted with minor revisions in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 2017.

- [28] "5G radio access: Requirements, concepts and technologies," tokyo: NTT DOCOMO, Inc., , 2014.
- [29] "New study item proposal: study on non-orthogonal multiple access for NR", 3GPP, RP-170829,, 2017.
- [30] S. Timotheou et I. Krikidis, "Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems", IEEE Signal Processing Letters, 22(10), 2015.
- [31] Q. Sun, l. chin et Z. Pan, "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems", IEEE Wireless Communications Letters, 4(4), 2015.
- [32] Z. Ding, F. Adachi et H. Poor, "The application of MIMO to nonorthogonal multiple access", IEEE Transactions on Wireless Communications, 15(1), 2016.
- [33] Z. Ding, M. Peng et H. Poor , "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems", IEEE Communications Letters., 2015.
- [34] S. Fletcher, A. Rangan et V. Goyal, *pressed sensing* "On-off random access channels: A compressed sensing framework",
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/7558184/> >, 2009.
- [35] M. Aldababsa et and all, "A Tutorial on Nonorthogonal Multiple Access for 5G and beyond", Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.
- [36] L. Zhu, Z. Xiao, X. Xia et W. Oliver, "Millimeter-Wave Communications With NonOrthogonal Multiple Access for B5G/6G," IEEE Access, vol. 7, 2019.
- [37] "Initial views and evaluation results on non-orthogonal multiple access for NR uplink", 2016.
- [38] «Figure - available from: Wireless Communications and Mobile Computing,» [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Downlink-NOMA-network_fig2_326058567.
- [39] «Describe the concept of beamforming in 5G and how it enhances network coverage and capacity,» [En ligne]. Available: <https://telcomaglobal.teachable.com/p/beamforming-in-5g-network-coverage-capacity>.
- [40] «What are the types of Beamforming used in 5G?,» 10 6 2024. [En ligne]. Available: <https://www.5gworldpro.com/blog/2022/04/10/what-are-the-types-of-beamforming-used-in-5g/>.
- [41] O. chabbouh , "Gestion des ressources des réseaux cloud RAN dans un contexte 5G", Tunis: université de carthage école supérieure des communications de tunis

ecole doctorale en technologies de l'information et de la communication, 2017.

[42]

