



N° d'ordre:

N° de série:



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

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Télécommunication

Spécialité: Systèmes de Télécommunication

Réalisé par: Boulif Abdelgheffar, Gherbi Ahmed abdessalam, Guezzoun
Abdelmalek, Ghemam amara rafika

Thème

Etude des performances de système

SC-NOMA

Devant le jury composé de:

Mr. Hettiri Messaoud

Université Echahid Hamma Lakhdar

Président

Mr. Tedjani Amina

Université Echahid Hamma Lakhdar

Examineur

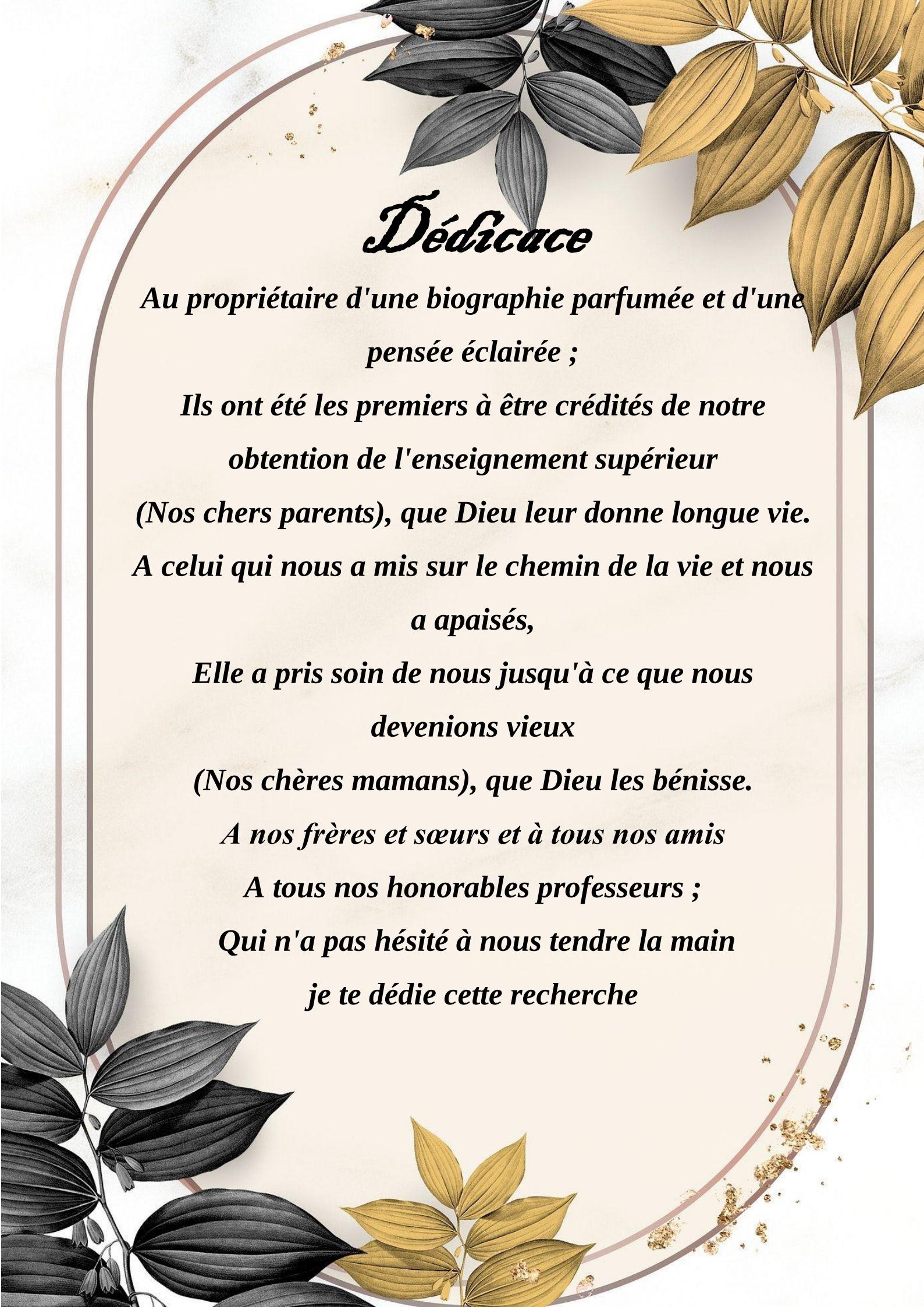
Mr. Ajgou Riadh

Université Echahid Hamma Lakhdar

Encadreur

2021-2022





Dédicace

*Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une
pensée éclairée ;*

*Ils ont été les premiers à être crédités de notre
obtention de l'enseignement supérieur
(Nos chers parents), que Dieu leur donne longue vie.
A celui qui nous a mis sur le chemin de la vie et nous
a apaisés,*

*Elle a pris soin de nous jusqu'à ce que nous
devenions vieux*

(Nos chères mamans), que Dieu les bénisse.

A nos frères et sœurs et à tous nos amis

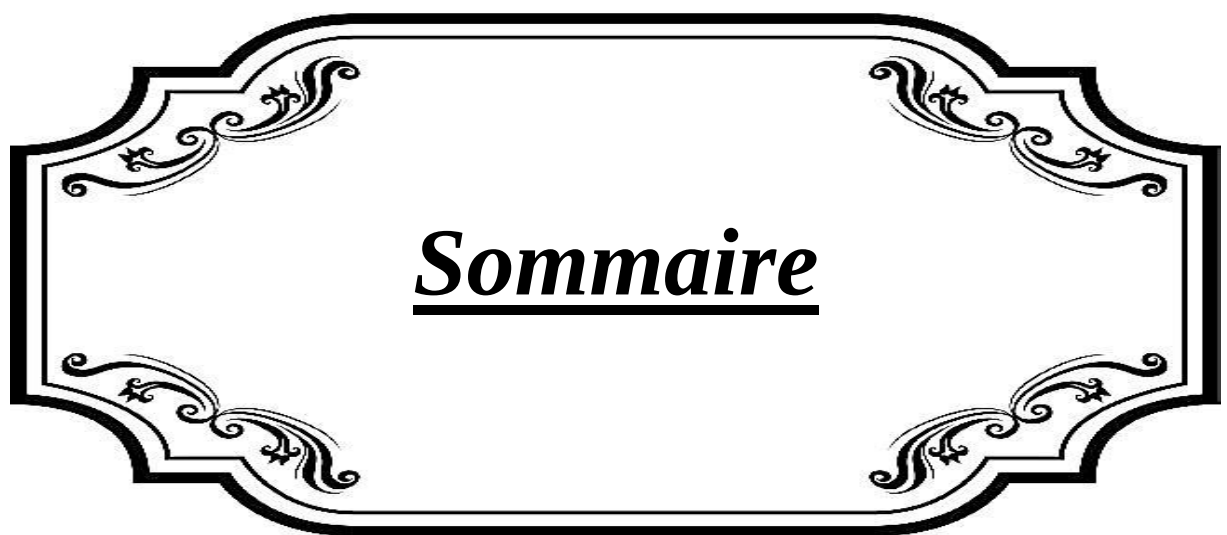
A tous nos honorables professeurs ;

*Qui n'a pas hésité à nous tendre la main
je te dédie cette recherche*



Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu pour la plus grande miséricorde de nous avoir permis de présenter ce projet sous la meilleure forme que nous voulions être, nous tenons à remercier notre superviseur de ce projet, le Dr (Dr.AjgouRiadh) pour son aide précieuse et conseils pour sortir de ce projet. Nous remercions nos professeurs et médecins qui nous ont fourni toutes les connaissances. Surtout, nous sommes tous reconnaissants envers nos familles pour leur amour, leur aide, leur soutien et leurs encouragements sans fin. Et à nos amis pour leur compréhension et leur soutien pour nous permettre de mener à bien ce projet.



Sommaire

Sommaire

	page
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	II
Listes des abréviations	VI
Listes des symboles	VIII
Introduction générale	IX
Chapitre I : techniques d'accès multiple dans la 5G	
1.Introduction	13
2.Principaux avantages du NOMA	13
3.Formes pratiques du NOMA	14
3.1 NOMA à transporteur unique	14
3.2 NOMA multi-porteurs	16
4 .Techniques d'accès multiple en LTE et au-delà	17
4.1 accès multiple orthogonal	17
4.2 accès multiple par répartition de la fréquence orthogonal (OFDMA)	17
4.3accès multiple à division de fréquence à porte unique (SCFDMA)	18
4.4 Accès multiple non orthogonal (NOMA)	19
5.Objectifs de la 5G	20
6.La consommation énergétique de la 5G	21
6.1 Les éléments à charge	21
6.2 Les éléments à mieux comprendre	22
6.3Les éléments positifs	23
7.Architecture de Réseau Mobile 5G	24
7.1 Couches physiques / MAC :	24
7/2 Couche réseau :	24
7.3 Couche protocole de transport ouvert (OTA) :	24
7.4 Couche application	25
8.Différentes catégories d'usages de la 5G	25
9.Principe de la modulation	26
9.1 Orthogonalité	27

9.2 Principe de la démodulation	27
9.3 Intervalle de garde	28
10.Les apports prévus de la 6G	29
11.Conclusion	30
Chapitre II: Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)	
1.Introduction	32
2 .Contexte :	32
2.1 Accès multiple (MA) :	32
2.2 Accès multiple orthogonal (OMA)	33
3. Accès multiple non orthogonal (NOMA)	33
3.1 Motivation de la NOMA :	33
3.2 Fonctionnement de la NOMA :	34
3.2.1 liaisonDescendantedans NOMA	35
3.2.2 Liaison montantedans NOMA	35
3.2.3 Codage de superposition (SC)	36
3.2.3.1 Lediagramme de constellation	37
3.2.4 Annulation successive des interférences (SIC)	37
4 .performance de NOMA :	38
4.1 Rapport signal-bruit (SNR)	38
4.2 La capacité de canal :	39
4.3 Performance du SIC :	40
4.4 Comparaison entre NOMA et OMA :	42
4.5 Performance de MIMO-NOMA :	43
5.Sécuritédans NOMA	43
6.Normalisation des NOMA	44
7.Conclusion	45
Chapitre III :Nombre d'utilisateurs prendre en charge dans system de Single Carrier NOMA (SC NOMA)	
1 .Introduction :	47
2.Single Carrier NOMA (SC NOMA) - Combien d'utilisateurs peut-il prendre en charge ?	48
2.1 Complexité SIC chez les grands nombre utilisateurs	48
2.2 Problème de l'interférence chez les utilisateurs faibles	49

2.3 Problème de la répartition du puissance	50
2.4 Une méthode d'allocation de puissance pour NOMA mono-utilisateur multi-utilisateurs	51
3. Evaluation des performances	51
4. Analyse des résultats	53
5.Remarques	54
6.Conclusion	54
Conclusion générale	56
Résumé	58
Référence	60

Liste des figures

	Page
Chapitre I : Techniques d'accès multiple dans la 5G	
FigureI.1: présente l'illustration d'OMA et NOMA	20
FigureI.2: Les trois cas d'utilisation de la 5G	26
FigureI.3: Schéma de principe d'un modulateur	27
FigureI.4: Spectre en sortie du modulateur OFDM.	27
FigureI.5: Principe d'un démodulteur	28
Figure I.6: Intervalle de garde	28
Chapitre II: Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)	
FigureII.1: Différents schémas d'accès multiples	33
FigureII.2: Illustrer le concept des systèmes SDMA	33
FigureII.3: Illustration de NOMA et de MIMO massives Réseaux hybrides HetNets	34
Figure II.4: illustration d'une solution NOMA possible	34
FigureII.5: liaison Descendante dans NOMA	35
FigureII.6: Liaison montante dans NOMA	36
FigureII.7: Transmission de signaux en NOMA pour deux utilisateurs	37
FigureII.8: Exemple d'encodage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signaux superposés	37
FigureII.9: Illustration pour Annulation successive des interférences (SIC)	38
FigureII.10: Efficacité spectrale $\log(1 + \text{SNR})$ du canal AWGN	38
FigureII.11: Deux émetteurs au même récepteur : SIC gagne le plus lorsque les RSSs	40

sont tels que les débits résultants sont les mêmes pour les deux transmissions	
Figure II.12: Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour les liaisons descendantes NOMA, Utilisateur proche et Utilisateur éloigné : BPSK	41
Figure II.13: Performance BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour NOMA en liaison descendante, Utilisateur proche et Utilisateur éloigné : QPSK	41
Figure II.14: Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour le NOMA en liaison descendante, modulation adaptative ; Utilisateur proche : 16 QAM et Utilisateur éloigné : BPSK	41
Figure II.15: Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour le NOMA en liaison descendante, modulation adaptative ; Utilisateur proche : 32 QAM et Utilisateur éloigné : BPSK	41
Figure II.16: Noter la région dans 2 utilisateurs en liaison descendante NOMA et OMA.	42
Figure II.17: Capacité totale de 2 utilisateurs en liaison descendante NOMA et OMA.	42
Chapitre III :Nombre d'utilisateurs prendre en charge dans system de Single Carrier NOMA (SC NOMA)	
Figure III.1: Simulation pour la puissance = 10 dBm	52
Figure III.2: Simulation pour la puissance = 20 dBm	52
Figure III.3: Simulation pour la puissance = 30 dBm	52
Figure III.4: Simulation pour la puissance = 40 dBm	52
Figure III.5: recueillons des graphiques pour faciliter le processus de comparaison	53

Liste des Tableaux

Chapitre I : Techniques d'accès multiple dans la 5G	
Table I.1: Tableau. Résumé des générations de communications mobiles	23
Table I.2: Comparaison entre les couches OSI et 5G	24

Listes des abréviations

3GPP: 3rd Generation Partnership Project .
ATSC :Advanced Television Systems Committee .
AWGN: Additive White Gaussian Noise.
BER: Bit Error Rate.
BPSK: Binary Phase Shift Keying .
BS : Base Station.
BW: Bandwidth
CDMA : code-division multiple access .
DPC : Dirty Paper Coding
EMBB :Enhanced Mobile Broadband
FDMA: frequency-division multiple access .
FRA :Future Radio Access
FU : far user
GBPS : Giga Bytes Per Second
GSM: Global System for Mobile Communications .
HetNets :Heterogeneous Networks
IDMA: Interleave Division Multiple Access.
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineer
IMT : International Mobile Telecommunications
IoT: Internet of Things.
IP :Internet Protocol
ITU : International Telecommunication Union
LDPC :low-density parity-check
LDM :layered division multiplexing .
LDS-CDMA: Low density spreading CDMA .
LDS-OFDM :Low Density Signature OFDM
LPMA :Lattice Partition Multiple Access.
LTE : Long Term Evolution .
LTE-A : Long Term Evolution Advanced .
MA : Multiple Access
MIMO: (multiple-input,multiple-output).
ML : Maximum likelihood.
MMTC : Massive Machine Type Communications

MPA : Message passing algorithmes.

MS : Mobile Station

MU-NOMA : Multi-User NOMA

MUSA : Multiple Unit SteerableAntenna

MUST:(Multiuser superposition transmission).

NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access .

NU : nearuser.

OFDM : Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal frequency division multiple access .

OMA :Orthogonal Multiple Access

OSI :Open Systems Interconnection

OTP : Open Transportation Protocol

OVSF :Orthogonal Variable Spreading Factor

PAPR :Peak-to-Average Power Ratio

PDMA : Pattern Division Multiple Access.

PLS : Physical Layer Security

PN : Pseudo-Noise

QAM : Quadrature Amplitude Modulation.

QoS: Quality of Service

QPSK: quadrature phase shift keying mapper .

RB :Resource Block.

RF: Radio Frequency.

SC : Suffixecyclique.

SCMA:Sparse Code Multiple Access.

SDMA : spatial division multiple access .

SC: Superposition Coding.

SC-FDMA :Single-Carrier FDMA

SC-NOMA :Single-Carrier NOMA

SIC: Successive Interference Cancellation.

SINR : Signal to Interference Noise Ratio.

SNR: Signal to Noise Ratio.

SOP :Secure Outage Probability

TCP :Transmission Control Protocol

TDMA: time-division multiple access .

TSSRS :Two-Stage Secure Relay Selection
TTI : Transmission Time Interval
UE: User Equipment .
URLLC : Ultra-reliablelow-latency communication

Listes des symboles

P : Puissance émise.
 $x_k(t)$: est le signal correspondant au message de l'UE_k.
 P_k : le rapport de puissance pour chaque UE_k
 α_k : coefficient de Puissance
 P_T :LaPuissance totale
 K :nombre d'utilisateurs
 $x(t)$: le signal transmis (BS)
 $y_k(t)$: Le signal reçu par chaque UE_k
 h_k : le facteur d'atténuation du canal pour chaque UE_k.
 n_k : le bruit gaussien blanc additif à l'UE_k.
 $SINR_{near}$: Le SINR pour le signal de l'utilisateur le plus proche
 $SINR_k$:Le SINR pour le signal de Utilisateur k
 $SINR_{far}$:Le SINR pour le signal de l'utilisateur le plus éloigné
 N_0 :noise power spectral density
 W :la bande passante
 P_{far} : le rapport de puissance pour l'utilisateur le plus éloigné
 h_{far} : le facteur d'atténuation du canal pour l'utilisateur le plus éloigné
 P_{near} :le rapport de puissance pour l'utilisateur le plus proche
 h_{near} : le facteur d'atténuation du canal pour l'utilisateur le plus proche
 C_k :Capacité de canal pour chaque UE_k
 F :l'indice d'équité
 C_{OMA} :la capacité totale du système (NOMA)
 C_{NOMA} : la capacité totale du système (OMA)
 R_T :ledébit total



Introduction générale

Introduction générale

les futurs réseaux sans fil tels que les réseaux 5G ou 6G devraient supporter des débits de données extrêmement élevés, et un très grand nombre d'utilisateurs ou de nœuds, avec une variété d'applications et de services.

Cependant, les systèmes d'accès multiples utilisés au cours des dernières générations de réseaux cellulaires ne seront pas adaptés pour répondre aux besoins de densité d'utilisateurs et de trafic de réseau.

Les schémas d'accès multiples utilisés à ce jour dans les réseaux cellulaires comprennent l'accès multiple par division de fréquence (FDMA) dans les systèmes 1G, l'accès multiple par division de temps (TDMA) dans 2G, l'accès multiple par division de code (CDMA) dans 3G, et l'accès multiple par division de fréquence orthogonale (OFDMA) dans le réseau 4G.

Le thème commun à tous ces schémas d'accès multiples est «l'orthogonalité» où, théoriquement, les différents utilisateurs se voient attribuer des canaux de fréquence ou des créneaux horaires distincts, des codes de signature ou des blocs de ressources afin qu'ils n'interfèrent pas les uns avec les autres lorsqu'ils accèdent aux ressources du réseau.

Cependant, cette insistance sur l'orthogonalité limite le nombre d'utilisateurs qui peuvent accéder aux ressources du réseau et réduit donc l'efficacité spectrale générale.

En revanche, les schémas d'accès multiple non orthogonaux (NOMA) permettent à plusieurs utilisateurs de partager la même ressource (un bloc de ressources temps/fréquence...) et de séparer les utilisateurs dans d'autres domaines avec une complexité de réception supplémentaire.

Lorsque le domaine de puissance est utilisé pour séparer les utilisateurs, il est appelé le schéma de domaine de puissance NOMA (PD-NOMA) et est au centre de cette mémoire sinon, si les utilisateurs sont séparés par des codes non orthogonaux, il est appelé domaine de code NOMA (CD-NOMA).

Ce mémoire porte sur la performance de l'accès multiple non orthogonal à porteur unique (SC-NOMA) en termes de nombre d'utilisateurs que le système peut accueillir. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une technologie prometteuse, qui offre une capacité système élevée, une faible latence et une connectivité massive, pour relever plusieurs défis dans les systèmes sans fil de cinquième génération et au-delà. Ce mémoire est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous parlerons des technologies d'accès multiple de la cinquième génération OMA et NOMA, et des exigences de cette génération qui doivent être disponibles.

Dans le second chapitre, on explore en détail la technologie NOMA, en termes de principe de fonctionnement, en la comparant avec diverses technologies OMA, et ce qu'elle peut offrir.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats de simulations visant à intégrer le SC-NOMA en termes de nombre d'utilisateurs qui peuvent être absorbés, et les facteurs qui l'affectent.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion.

Chapitre I:
techniques d'accès multiple
dans la 5G

1.Introduction

La cinquième génération (5G) de la téléphonie mobile sans fil est l'une des technologies les plus récentes dans le domaine des communications sans fil [1]. Cette avancée devrait fournir un très grand service en termes de rapidité, de diversité et de facilité. La 5G nous conduira à une « communauté de communication durable » où les appareils mobiles joueront un plus grand rôle dans le changement positif de la vie quotidienne des gens. Il y a beaucoup de questions et de discussions sur la définition des caractéristiques clés de la 5G, donc dans ce chapitre nous allons fournir un large aperçu sur des récentes informations concernant la 5^{ème} générations. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une technique prometteuse qui surpasse les schémas d'accès multiples traditionnels sous de nombreux aspects. 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 soutenue 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 principe des systèmes OFDM est d'utiliser plusieurs fréquences porteuses pour répartir un flot d'informations à transmettre à travers un canal de transmission à large bande sur plusieurs sous-canaux à bande étroite (chacun correspondant à une des fréquences). Ceci explique la dénomination de transmission multi-porteuse qui est souvent utilisée pour parler des systèmes OFDM. [2]

2.Principaux avantages du NOMA

Alors que SC et SIC continuent de mûrir en termes de leurs aspects théoriques et pratiques, NOMA mûrit également. Il a donc été proposé pour les réseaux de nouvelle génération. En invoquant la technique SC, la BS transmet les signaux codés par superposition de tous les utilisateurs. Ensuite, les gains de canal des utilisateurs sont triés dans l'ordre croissant ou décroissant. Dans les schémas OMA traditionnels, l'utilisateur le plus fort bénéficie de la puissance la plus élevée, ce qui n'est pas toujours le cas pour NOMA. Les schémas de transmission NOMA présentent les principaux avantages suivants:

- Efficacité de bande passante élevée : NOMA présente une efficacité de bande passante élevée et améliore donc le débit du système, ce qui est attribué au fait que NOMA autorise chaque RB(Ressource Bloc)à être exploité par plusieurs utilisateurs [3]
- Équité : Une caractéristique clé de NOMA est qu'il alloue plus de puissance aux

utilisateurs faibles. Ce faisant, NOMA est en mesure de garantir un compromis attractif entre l'équité entre les utilisateurs quant à leur débit. Il existe des techniques sophistiquées de maintien de l'équité pour NOMA, telles que les politiques intelligentes et le schéma coopératif NOMA[4].

- **Connectivité ultra-élevée** : le futur système 5G devrait prendre en charge la connexion de milliards d'appareils intelligents. L'existence de NOMA offre une alternative de conception prometteuse pour résoudre efficacement cette tâche non triviale en exploitant ses caractéristiques non orthogonales. Plus précisément, contrairement à l'OMA conventionnel, qui nécessite le même nombre de fréquence/temps

RB comme nombre d'appareils, NOMA est capable de les desservir en utilisant moins de RB.

- **Compatibilité** : encore une fois, d'un point de vue théorique, NOMA peut être invoquée comme une technique "complémentaire" pour toutes les techniques OMA existantes, telles que TDMA/FDMA/CDMA/OFDMA, en raison du fait qu'elle exploite une nouvelle dimension, à savoir le domaine de puissance. Compte tenu de la maturité des techniques SC et SIC tant en théorie qu'en pratique, NOMA peut être fusionné avec les techniques MA existantes.

- **Flexibilité** : par rapport aux autres techniques NOMA existantes, telles que MUSA, PDMA [5]SCMA, NOMA est conceptuellement attrayant et produit une conception peu complexe. En fait, les principes fondamentaux des schémas MA (Technique d'accès multiple) et NOMA susmentionnés sont très similaires, reposant sur l'attribution de plusieurs utilisateurs à un seul RB. Si l'on considère la comparaison de NOMA et SCMA comme exemple, SCMA peut être considéré comme une variante de NOMA qui intègre un codage, une modulation et une allocation de sous-porteuse appropriés.

3. Formes pratiques du NOMA

. En pratique, NOMA peut être mis en œuvre sous diverses formes, telles que NOMA de domaine de code et de domaine de puissance, comme résumé dans cette section. Nous pouvons également classer les formes pratiques de NOMA en NOMA à porteur unique (SC-NOMA) et à porteur multiple (MU-NOMA). Leurs avantages et inconvénients seront abordés dans cette section.

3.1 . NOMA à transporteur unique

Nous commençons nos discussions à partir de la conception NOMA à porteur unique,

qui jettera les bases de la conception NOMA à porteurs multiples par la suite.

1) IDMA (L'accès multiple par division entrelacée): l'idée clé du schéma IDMA repose sur un entrelaceur de puce unique spécifique à l'utilisateur pour distinguer les signaux de différents utilisateurs [6] .

L'IDMA est une technique de mise en œuvre simple pour NOMA pour faciliter le RPC (Contrôle de puissance aléatoire RPC). RPC peut fournir un débit considérablement amélioré dans les systèmes à accès aléatoire avec annulation d'interférences successives (SIC).

IDMA peut donc être considéré comme un CDMA entrelacé de puces (chip-level), qui présente l'avantage d'une grande diversité car si une ou deux puces sont corrompues, la séquence d'étalement correspondante peut encore être récupérée à l'aide d'une stratégie de détection multi-utilisateur itérative (IMD) puce par puce de faible complexité. Une comparaison complète de l'IDMA et du CDMA a été présentée en termes de performance vs complexité.

2) LDS-CDMA : le CDMA basé sur le LDS constitue une version améliorée du CDMA, qui s'inspire des recherches sur les codes de contrôle de parité à faible densité (LDPC). Pour le CDMA classique, une solution possible consiste à attribuer des séquences d'étalement orthogonales à chaque utilisateur, et donc un récepteur à faible complexité peut être appelé au niveau des récepteurs pour éliminer les interférences. Néanmoins, cette conception de code d'étalement orthogonal n'est capable de prendre en charge qu'un nombre égal d'utilisateurs et de puces, ce qui motive le développement d'une conception de code d'étalement non orthogonal. Des séquences d'étalement dites éparses sont employées à la place des séquences d'étalement denses du CDMA conventionnel, telles que les codes à facteur d'étalement variable orthogonal (OVSF). Cependant, une telle conception nécessite un décodage multi-utilisateur sophistiqué au niveau des récepteurs. Pour le LDS-CDMA, un algorithme de transmission de message (MPA) basé sur la technique de détection multi-utilisateur peut être appliqué au niveau du récepteur, qui est capable d'atteindre les performances de détection de probabilité quasi maximale (ML).

3) LPMA : l'accès multiple basé sur la partition en treillis (LPMA) est un nouveau multi-utilisateur non orthogonal de liaison descendante

Schéma de transmission de superposition, qui a été proposé par Fang. Le LPMA permet d'obtenir un gain de multiplexage bénéfique à la fois dans le domaine de la puissance et dans le domaine du code. Plus explicitement, le multiplexage de domaine de puissance a le potentiel d'augmenter le débit en superposant des flux de puissance différente. En revanche, le multiplexage de domaine de code superpose plusieurs flux en exploitant le fait que la

combinaison linéaire de codes en treillis aboutit également à un code en treillis. Plus précisément, LPMA encode les informations des utilisateurs en appliquant un codage en réseau au niveau des émetteurs et invoque SIC au niveau des récepteurs pour la détection. Il convient de souligner qu'un avantage spécifique du LPMA est qu'il a le potentiel de contourner un obstacle spécifique du domaine de puissance NOMA, à savoir que le gain de performances atteint repose sur la différence de qualité de canal des utilisateurs. Cependant, LPMA impose une complexité de codage et de décodage plus élevée que NOMA à domaine de puissance.

3.2 . NOMA multi-porteurs

Compte tenu des avantages remarquables de l'ofdm, cette conception de forme d'onde mature est susceptible d'être intégrée dans les réseaux 5G. Explicitement, l'un des principaux avantages des techniques multiporteuses est qu'au lieu des symboles courts sensibles à la dispersion des modems série, de nombreux symboles parallèles résistants à la dispersion de longue durée sont transmis sur des canaux dispersifs. Par conséquent, ces symboles de longue durée ne sont que légèrement affectés par le même CIR et peuvent être facilement égalisés par un égaliseur de domaine fréquentiel à prise unique. Les techniques NOMA devraient coexister avec l'OFDM. Dans cette sous-section, plusieurs formes de conceptions NOMA multiporteuses sont abordées.

1) LDS-OFDM : LDS-OFDM est essentiellement une combinaison de LDS-CDMA et OFDM, qui peut être considérée comme une variante avancée de LDS-CDMA sous une forme multiporteuse. Par conséquent, les mêmes séquences d'étalement clairsemées sont appliquées au niveau des émetteurs et la même détection basée sur le MPA est adoptée au niveau des récepteurs. Le processus de mappage de flux de données consiste en deux étapes : 1) chaque bit des flux de données est d'abord étalé par les séquences d'étalement à faible densité ; et 2) Les flux de données sont ensuite transmis sur différentes sous-porteuses en appliquant un modulateur OFDM. Il existe plusieurs techniques de cartographie des séquences d'étalement en OFDM, chacune ayant des avantages et des inconvénients différents. Par exemple, chaque puce peut être mappée sur une sous-porteuse différente pour obtenir une diversité dans le domaine fréquentiel. En variante, chaque sous-porteuse peut acheminer un flux bas débit étalé. Cependant, cette conception entraîne une plus grande complexité en raison de l'application de la détection MPA par rapport à une conception OFDMA conventionnelle.

2) SCMA : repose également sur des codes d'étalement clairsemés pour garantir que chaque RB peut prendre en charge plus d'un utilisateur à l'aide d'un étalement à faible densité, ce qui

donne un schéma similaire à LDSCDMA et LDS-OFDM. Considérant un exemple de six utilisateurs et quatre sous-porteuses, une signature typique

3) PDMA : PDMA est une autre forme de NOMA multi porteuse basée sur une matrice de signature clairsemée

4. Techniques d'accès multiple en LTE et au-delà

L'accès multiple permet à plusieurs utilisateurs de partager efficacement un canal de communication. Un schéma d'accès multiple (MA) normalisé est généralement considéré comme la caractéristique représentative d'un système cellulaire à chaque génération. Par exemple, CDMA à accès multiple par répartition en code et OFDMA/SC-FDMA caractérisent respectivement les 3e et 4e générations de systèmes de communication mobile [7] [8] [9]. L'accès multiple non orthogonal, abrégé NOMA, est un schéma d'accès nouvellement introduit, qui a été reconnu comme un candidat prometteur pour la 5ème génération de technologies d'accès radio (RA) [10].

4.1 accès multiple orthogonal

Dans les systèmes LTE, qui ont été normalisés dans le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) Release 8 [11], deux schémas d'accès multiple orthogonal (OMA), OFDMA et SC-FDMA, ont été adoptés comme schémas d'accès multiple standard pour la transmission en liaison descendante et en liaison montante, respectivement. Les deux schémas d'accès multiples sont considérés comme des techniques appropriées pour exploiter la granularité de fréquence flexible, prendre en charge les diverses exigences de qualité de service (QoS) des utilisateurs et atteindre une efficacité spectrale élevée. Dans les systèmes 4G LTE, parfois également appelés LTE-A qui a été adopté comme norme dans le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) version 10 [12], OFDMA et SC-FDMA sont toujours adoptés et la bande passante de fréquence se situe entre 1,25 mhz et 20 mhz [13]. Un débit de données maximal en GBPS [14] peut être pris en charge en adoptant une technologie de pointe telle que l'entrée multiple sortie multiple (MIMO).

4.2 accès multiple par répartition de la fréquence orthogonal (OFDMA)

LTE utilise le schéma OFDMA populaire pour la transmission en liaison descendante. Dans le domaine fréquentiel, un canal donné est divisé en plusieurs sous-porteuses (ou sous-canaux) plus étroites avec une bande passante de 15 KHZ chacune en liaison descendante et en liaison montante LTE. L'espacement est fait de telle sorte que les sous-porteuses restent orthogonales et n'interfèrent pas les unes avec les autres. En ce sens, il n'est pas nécessaire de

placer des bandes de garde entre des sous-canaux adjacents. Dans le domaine temporel, le temps de transmission est divisé en trames d'une longueur de 10 millisecondes (ms) chacune. Chaque trame est divisée en 10 sous-trames de longueur égale. Chaque sous-trame, correspondant à un intervalle de temps de transmission (TTI), est divisée en deux intervalles de temps de taille égale de longueur 0,5 ms. Chaque tranche de temps se compose de six ou sept symboles de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) selon le choix du préfixe cyclique [15] La plus petite unité de ressource adoptée dans LTE est un bloc de ressources (RB) composé de 12 sous-porteuses avec une bande passante totale de 180 KHZ dans le domaine fréquentiel et un créneau de 0,5 ms dans le domaine temporel [16]

Des utilisateurs actifs dans un réseau cellulaire peuvent transmettre ou recevoir des données dans un intervalle de temps donné en utilisant de tels RB temps-fréquence. Un autre avantage de l'OFDMA est sa robustesse à la présence d'évanouissements par trajets multiples. Dans la transmission de données, le flux de données à grande vitesse est divisé en plusieurs sous-flux avec un débit de données inférieur. Ces flux binaires sont modulés en symboles de données et transmis en même temps sur différentes sous-porteuses. Chaque sous-porteuse ne connaît qu'un gain de canal relativement constant pendant chaque TTI, puisque la bande passante de chaque sous-porteuse est considérée comme beaucoup plus petite que la bande passante de cohérence. Par conséquent, l'ofdma montre une efficacité

Résistant à l'évanouissement sélectif en fréquence. Dans[17], des discussions plus détaillées sur l'OFDMA peuvent être trouvées.

4.3 accès multiple à division de fréquence à porte unique (SCFDMA)

Dans la liaison montante LTE, le rapport de puissance crête à moyenne (PAPR) élevé dans les signaux OFDM transmis est considéré comme l'un des inconvénients de l'OFDMA. Par conséquent, le besoin d'un amplificateur de puissance hautement linéaire [18] devient essentiel. Un PAPR élevé diminue l'efficacité énergétique, sous une contrainte de consommation d'énergie sur l'UE, et réduit donc la durée de vie de la batterie. De plus, cela peut entraîner une distorsion dans la bande du signal transmis et un élargissement spectral sur les canaux adjacents. Ces limitations ne sont pas un problème sérieux pour la transmission en liaison descendante en raison des amplificateurs de puissance de haute précision ainsi que de la disponibilité de l'alimentation électrique au niveau des stations de base (BS). Cependant, dans la transmission de liaison montante, un UE mobile est généralement limité par sa capacité de batterie et la linéarité de son amplificateur de puissance, ce qui entraîne un problème majeur de consommation d'énergie. Pour surmonter ces inconvénients, SCFDMA,

une version modifiée d'OFDMA, a été adopté comme schéma MA standard pour la transmission de liaison montante LTE. Le SC-FDMA a des performances similaires à celles de l'OFDMA mais avec un PAPR inférieur [19]. SC-FDMA et OFDMA diffèrent également par le fait que dans SC-FDMA, les symboles d'information sont transmis séquentiellement plutôt qu'en parallèle en utilisant des sous-porteuses orthogonales. Ce mécanisme offre un PAPR inférieur en réduisant les fluctuations d'enveloppe de la forme d'onde du signal transmis, ce qui rend le SC-FDMA plus adapté à la transmission en liaison montante, en particulier pour les équipements à faible coût avec une puissance limitée. Les enquêtes de performance et les comparaisons entre OFDMA et SC-FDMA peuvent être trouvées dans [20]

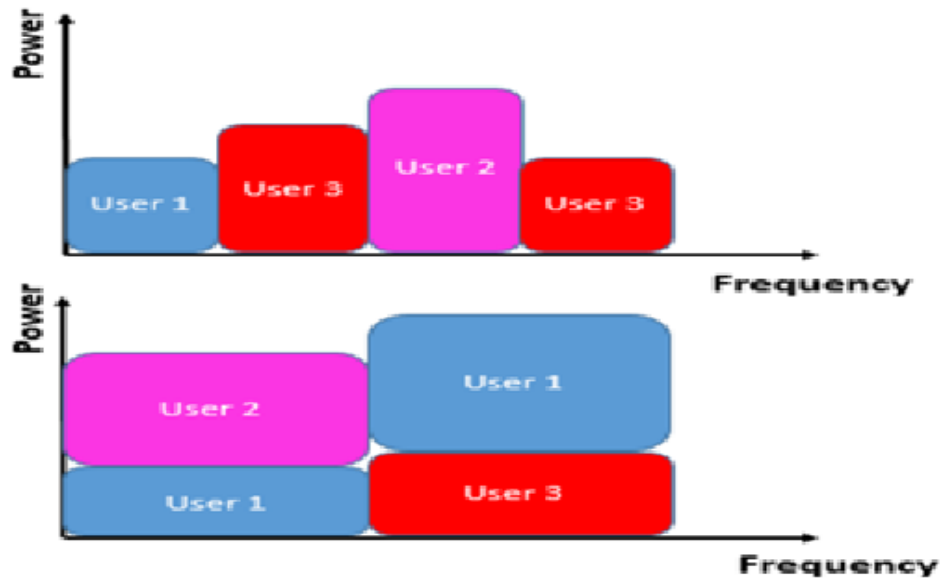
4.4 Accès multiple non orthogonal (NOMA)

Le réseau 4G a connu une croissance considérable en raison de la distribution des réseaux LTE rentables dans le monde entier. La nécessité de développer un système de communication de nouvelle génération tel que le réseau 5G découle de la demande croissante d'appareils mobiles connectés et du trafic de données progressif [21]. Pour cette raison, l'avancement de la 5G a pris de l'ampleur dans la recherche et le développement. Les exigences 5G peuvent être identifiées pour prendre en charge suffisamment la communication sans fil. Par rapport aux réseaux LTE, la 5G devrait avoir la capacité de fournir des gains de capacité système multipliés par 1000, un débit de données de pointe de type fibre de 10 Gbps et 1 Gbps pour une faible mobilité et une mobilité élevée, respectivement, avec au moins 100 milliards de connexions d'appareils, faible consommation d'énergie et latence [22]

Afin de répondre à ces exigences exigeantes, l'architecture de réseau 5G doit se différencier du LTE, tout en faisant évoluer les systèmes OMA actuels. À cette fin, plusieurs schémas d'accès multiple non orthogonaux sont en cours d'évaluation pour les exigences de la 5G. Par exemple, l'accès multiple à code clairsemé (SCMA) est considéré comme une forme multiporteuse de NOMA [23], qui se concentre principalement sur la création d'une matrice de graphes de facteurs pour mapper les utilisateurs sur les sous-porteuses limitées. Comme stipulé dans la version 13, le 3GPP a lancé une étude sur la transmission par superposition multi-utilisateurs (MUST) en liaison descendante pour LTE [24]. Son principal argument est d'examiner la transmission non orthogonale multi-utilisateurs et la proposition de récepteurs avancés. En plus de son application dans les réseaux cellulaires, NOMA a également été appliqué à d'autres types de réseaux sans fil, en raison de son efficacité spectrale supérieure. Par exemple, une version de NOMA, appelée Layer Division Multiplexing (LDM), a été proposée pour la prochaine norme générale de télévision numérique ATSC 3.0. Thèse. Le

concept est proposé dans[24] Ce schéma applique un codage de superposition pour superposer plusieurs signaux UE du côté émetteur. En s'appuyant sur l'amélioration technologique des récepteurs des utilisateurs finaux et leurs capacités de traitement, la mise en œuvre de l'annulation successive des interférences (SIC) devient cruciale pour NOMA qui permet la séparation et le décodage des signaux multi-utilisateurs côté récepteur[25]. Dans la figure suivante, une illustration pour l'OMA et le NOMA à cellule unique dans le domaine de la puissance (ainsi que de la fréquence) peut être vue. Ils se différencient les uns des autres en ce que NOMA permet à deux utilisateurs ou plus d'attribuer la même sous-bande tout en fournissant une quantité appropriée de puissance à chaque utilisateur respectif, alors que chaque sous-bande dans OMA ne peut être attribuée qu'à un seul utilisateur.

La Figure 1. présente l'illustration d'OMA et NOMA



FigureI.1: L'illustration d'OMA et NOMA[25]

5.Objectifs de la 5G

Avec des objectifs très variés selon les catégories d'usages mais également selon les milieux de communications (à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments), le nouveau standard 5G ne s'intéresse pas uniquement à l'accroissement des débits mais plutôt à être un système puissant et fiable. Dans ce contexte, la première partie de ce chapitre est consacré à la description de l'objectif de la 5G face aux précédentes générations des réseaux mobiles. Dans cette même partie, nous allons présenter les différentes catégories d'usage de ce futur système de communications. Après identification des utilisateurs, nous allons dans la seconde partie de

ce chapitre, détailler l'ensemble des exigences pour répondre au bon fonctionnement de ce système de communication. Enfin, la dernière partie s'intéressera particulièrement à l'étude détaillée des différents types de solutions au niveau de la couche physique du dernier point d'accès du réseau afin de répondre aux énormes exigences des usagers.

Au moment où le déploiement de la 4G est en cours auprès du grand public, il faut déjà se projeter dans l'avenir pour mieux réfléchir sur la prochaine génération. Ainsi, l'UIT par son instance IMT-2020 (Télécommunications mobiles internationales) définira les standards de la 5G. Généralement pour atteindre les objectifs globaux d'une norme IMT, les processus et les échéances sont élaborés dans trois grandes phases : une phase vision, une phase développement et une phase déploiement.

Dans la première phase, les organismes se réunissent dans des conférences et des symposiums pour déterminer les objectifs, les exigences et les domaines d'intérêt. C'est dans cette phase de vision qu'on identifiera les techniques spécifiques et les technologies les plus prometteuses pour le développement de ces futurs réseaux 5G. Le groupe de travail de l'ITU-R a publié en 2015 un document nommant la recommandation ITU-R M.2083 qui marque les trois ans de travail sur la normalisation de la 5G à l'échelle mondiale. Ce document a permis de définir les bases nécessaires pour la recherche et le développement de la 5G.

Après les prérequis définissant les besoins puis les technologies mobiles, l'objectif du IMT-2020 n'est rien d'autre que d'anticiper les besoins des utilisateurs de services mobiles dans les prochaines décennies. Dans cette deuxième phase qui sera marquée par le développement des standards, les chercheurs du monde entier ont jusqu'à 2020 pour proposer de nouveaux concepts et des technologies pour la 5G en s'appuyant sur la base des conclusions de la première phase.

Enfin vient la phase de déploiement sur la base des travaux déjà effectués dans les deux premières phases citées précédemment. Cette phase débutera à partir de 2020 pour le grand public mais quelques phases test sur terrain ont déjà eu lieu à l'occasion des Jeux Olympiques d'hiver de 2018 Pyeongchang en Corée du Sud [26]

6. La consommation énergétique de la 5G

S'agissant de l'impact de la 5G proprement dite, on peut lister tout un ensemble d'effets contradictoires appartenant à des domaines très différents :

6.1 Les éléments à charge

Un point négatif potentiel souligné dans de nombreuses études est l'effet rebond :

l'augmentation des capacités conduira naturellement à une augmentation des usages. Par exemple, une croissance inconsidérée de la vidéo à la demande et l'augmentation de la résolution de ces vidéos risquent de conduire à un accroissement de la consommation énergétique des réseaux cellulaires malgré l'amélioration de la dépense énergétique pour un service donné. Mais le point le plus négatif est celui du coût environnemental de la production des terminaux mobiles (serveurs, stations de travail, tablettes, smartphones, objets connectés). Dans « Chiffres clés du climat, 2021 » du ministère de la Transition écologique, il est noté page 83 que la fabrication d'un appareil de type smartphone dégage 30 kg de CO₂. Pour 30 millions de smartphones, cela correspond à 0.9 mtonnes de CO₂ (mégatonnes de CO₂). Ce chiffre est à comparer par exemple aux 662 mtonnes émises en France (en incluant les émissions associées aux importations). L'impact environnemental des terminaux dépasse toutefois celui de l'émission de gaz à effet de serre lors de leur production : il faut également prendre en compte la consommation de ressources[27]

Abiotiques (eau, minéraux, terres rares, éléments de batteries, etc.). Ce point est d'autant plus important que les consommateurs changent de smartphone approximativement tous les deux ans en France et que le passage à la 5G est, de fait, une incitation à changer plus vite de smartphone.

Chaque nouvelle technologie cellulaire s'ajoute aux précédentes qui perdurent, et cette accumulation conduit à une accumulation d'impacts sur l'environnement. Des réflexions pour arrêter la 3G ou la 2G sont à l'étude, mais ceci n'est pas envisageable dans un futur proche.[27]

6.2 Les éléments à mieux comprendre

Les antennes 5G en forme de tableaux de petites antennes élémentaires demandent davantage de calcul pour déterminer ce que chaque antenne élémentaire doit émettre pour obtenir la focalisation globale désirée. Les auteurs du rapport n'ont pas actuellement l'information suffisante pour évaluer ce coût énergétique ; une estimation précise est à faire tant pour la bande des 3,5 GHz que pour les ondes millimétriques.

Comme déjà souligné, la 5G ne se substitue pas aux générations précédentes et conduit donc à des dépenses énergétiques et environnementales supplémentaires, par exemple dans le domaine de la fabrication de nouvelles stations de base et de terminaux. Toutefois, une densification de la 4G nécessiterait elle aussi la fabrication et l'installation de nouvelles stations de base moins efficaces. Si la 5G peut conduire à une augmentation de la consommation d'énergie par effet de rebond, son non-déploiement conduit aussi à une

augmentation par une utilisation croissante d'une 4G plus énergivore et parfois saturée. [27]

6.3 Les éléments positifs

Un effet positif fondamental vient de la forte réduction de l'angle d'émission des communications qui est à la base de cette nouvelle génération de réseaux : pour un service donné, la dépense d'énergie directement due à l'émission d'ondes sera bien inférieure avec la 5G qu'avec les générations précédentes. Un autre effet positif réside dans la nouvelle fonctionnalité de mise en veille de ces stations en cas de non-utilisation (par exemple la nuit), suivie d'un redémarrage aussi très rapide.

D'après les équipementiers, le gain énergétique à service comparable sera de 2 dans la phase initiale du déploiement de la 5G et pourrait atteindre 20 à terme, une fois mises en oeuvre toutes les adaptations et optimisations prévues. S'il est difficile d'estimer exactement quel sera ce gain futur, il semble qu'il sera de toute façon conséquent. Il y a aussi des perspectives complémentaires pour réduire la dépense énergétique actuelle, au niveau des circuits et des architectures de calcul, du monitoring, des bonnes pratiques de développement, etc. La croissance annoncée des usages et des marchés rend leur mise en oeuvre essentielle.[27]

Génération	1G	2G	3G	4G	5G
1 ^{ère} année de déploiement	1981	1992	2001	2010	2020
Débit de données	2 Kb/s	64 Kb/s	2 Mb/s	100 Mb/s	10 Gb/s
fréquences	900MHz	900MHz et 1.8GHz	800/900MHz 1.7 à 1.9GHz 2100MHz	800MHz 900MHz 1800MHz 2100MHz 2600MHz	28GHz 37GHz 39GHz 64-71GHz
Description fonctionnelle générale	Téléphones cellulaires analogiques	Téléphones cellulaires numérique (GSM/CDMA)	Première bande passante mobile utilisant des protocoles IP (WCDMA	Le haut débit mobile sur un standard unifié (LTE)	Internet tactile-améliorer le réseau de communication M2M

			2000)		
--	--	--	-------	--	--

Tableau I.1. Résumé des générations de communications mobiles

7. Architecture de Réseau Mobile 5G

Les concepts 5G correspondent aux couches OSI (Open System Interconnected). Quatre Couches de base sont utilisées dans 5G. Le tableau suivant montre une comparaison entre les couches OSI et 5G [28]

Couche application	Application(services)
Couche présentation	
Couche session	Protocole de transport ouvert (OTP)
Couche de transport	
Couche réseau	Couche réseau supérieure
	Couche réseau inférieure
Couche liaison de données (MAC)	Architecture sans fil ouverte (OWA)
Couche physique	

Tableau I.2 : Comparaison entre les couches OSI et 5G

7.1 Couches physiques (MAC) :

Les couches de contrôle d'accès physique et d'accès au support, à savoir la couche OSI 1 et la couche OSI 2, définissent la technologie sans fil et sont représentées sur ce tableau. Pour ces deux couches, les réseaux mobiles 5G seront probablement basés sur OpenWirelessArchitecture[29] [30]

7.2 Couche réseau :

La couche 2 de 5G est subdivisée en couches supérieures et inférieures, comme le montre le tableau I.3. La couche réseau de la technologie 5G correspond à la couche OSI 3, qui est la couche réseau. La couche réseau sera IP (Internet Protocol), IP version 4 (IPv4) est largement répandue dans le monde. Il présente divers problèmes, tels qu'un espace d'adressage limité et aucune possibilité réelle de prise en charge de la qualité de service (QoS), ces problèmes sont résolus dans la version ipv6 [31]

7.3 Couche protocole de transport ouvert (OTA) :

La couche protocole de transport ouvert est la troisième couche de la technologie 5G, qui correspond aux couches de transport et de session du modèle OSI. Les réseaux

mobiles et sans fil diffèrent des réseaux câblés en ce qui concerne la couche de transport. Dans toutes les versions du protocole TCP (Transmission Control Protocol), il est supposé que la perte de paquets est due à l'encombrement dans le réseau. Mais en raison d'un taux d'erreur binaire plus élevé dans l'interface radio, des pertes peuvent survenir dans la technologie sans fil. Par conséquent, des modifications TCP sont prévues pour les réseaux mobiles et sans fil, qui retransmettent les segments TCP endommagés uniquement sur la liaison sans fil. Pour les terminaux mobiles 5G, il conviendra de disposer d'une couche de transport pouvant être téléchargée et installée. Ces mobiles auront la possibilité de télécharger une version ciblée sur une technologie sans fil spécifique installée dans les stations de base (BS). C'est ce qu'on appelle un protocole de transport ouvert (OTP) [32]

7.4 Couche application :

Cette couche est la dernière couche dans l'ordre des couches du modèle 5G et OSI. En ce qui concerne les applications, la demande ultime du terminal mobile 5G est de fournir une gestion intelligente de la qualité des services (QoS) sur une variété de réseaux. Aujourd'hui, les utilisateurs de téléphones mobiles sélectionnent manuellement l'interface sans fil pour un service Internet particulier sans avoir la possibilité d'utiliser l'historique QoS pour sélectionner la meilleure connexion sans fil pour un service donné. Le téléphone 5G offrira la possibilité de tester la qualité du service et de stocker les informations de mesure dans les bases de données d'informations du terminal mobile [33]

8. Différentes catégories d'usages de la 5G

A moyen terme (c'est-à-dire jusqu'en 2020 environ) et au-delà, le développement futur des IMT-2020 va sans doute évoluer en fonction des exigences du marché. En étudiant les différents cas d'utilisation et les besoins des usagers, trois grandes catégories d'usages ont été regroupés : [34]

- Les communications massives de type machine (MMTC – Massive Machine Type Communications) : l'automatisation des processus industriels avec les communications massives de type machine sont des exemples de cas d'utilisations qui seront possibles dans les futurs systèmes 5G. Ce scénario d'utilisation nécessite une bonne qualité de service en termes de réduction de la consommation énergétique, de bonne connectivité ainsi qu'une grande fiabilité.
- La large bande mobile évoluée (EMBB – Enhanced Mobile Broadband) : dans les grands centres urbains avec une forte densité d'utilisateurs, on assiste de plus en plus à une forte

demande à l'accès aux contenus, services et données multimédias. Cette demande va entraîner des exigences en termes de bande passante, ce qui va conduire à la large bande mobile évolué. Cette utilisation englobe aussi des exigences en termes de couvertures et de très haut débit mobile constant quel que soit le contexte de réception.

➤ Communications ultra-fiables à très faible latence (URLLC – Ultra-Reliable and LowLatency) : ce scénario d'utilisation sera très important dans les futures applications nécessitant une très grande réactivité en même temps qu'une transmission extrêmement fiable. Des besoins qui se retrouvent principalement dans les transports autonomes, dans la numérisation de l'industrie, dans la chirurgie à distance, et dans les réseaux électriques intelligents [35].

La Figure 2. présente le résumé des trois cas d'utilisation de la 5G dans les différents domaines d'applications

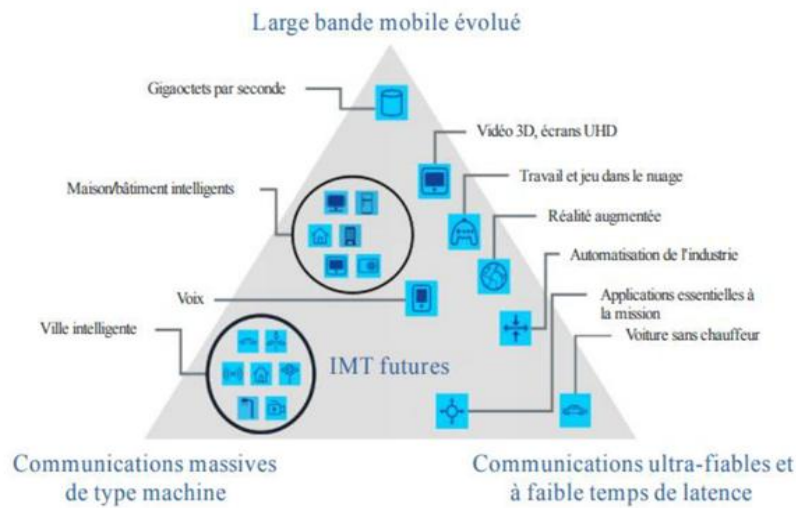


Figure I.2. Les trois cas d'utilisation de la 5G[35]

9.Principe de la modulation

Le principe du multiplexage en fréquence est de grouper des données numériques par paquets de N , qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente en même temps. Considérons une séquence de N données $C_0, 1, \dots, N-1$.

Le signal $s(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des signaux individuels : [36]

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (I.1)$$

Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$.

Voici le schéma de principe de la modulation. Comme nous le montrons dans cette image suivante Schéma de principe d'un modulateur

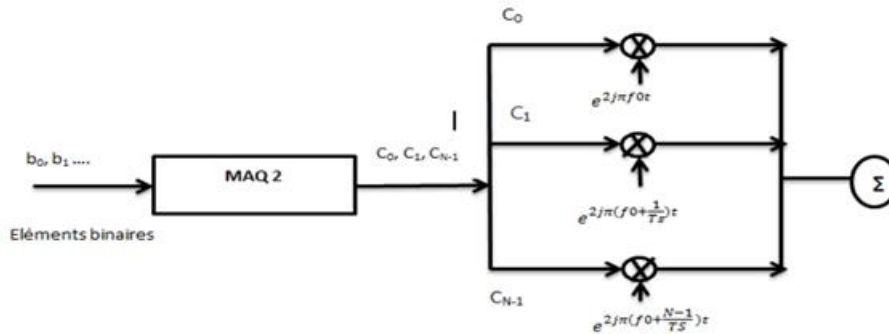


Figure I.3. Schéma de principe d'un modulateur[36]

9.1 Orthogonalité

Nous allons déterminer le spectre du signal OFDM. Chaque porteuse modulant une donnée pendant une fenêtre de durée, son spectre est la Transformée de Fourier de la fenêtre.[35]

Comme nous le montrons dans cette image suivante spectre en sortie du modulateur OFDM.

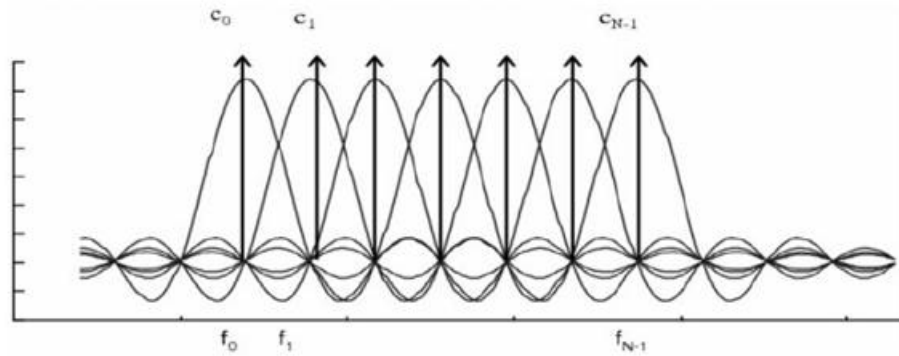


Figure I.4.Spectre en sortie du modulateur OFDM.[35]

9.2 Principe de la démodulation

Le signal parvenant au récepteur s'écrit, sur une durée symbole T_s

$$Y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \quad (I.2)$$

$H_k(t)$ est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence f_k et au temps t . Cette fonction varie lentement et on peut la supposer constante sur la période T_s ($T_s \ll 1/B_d$). La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous-porteuses

suivant le schéma classique[35] . Comme nous le montrons dans cette image suivante principe d'un démodulateur

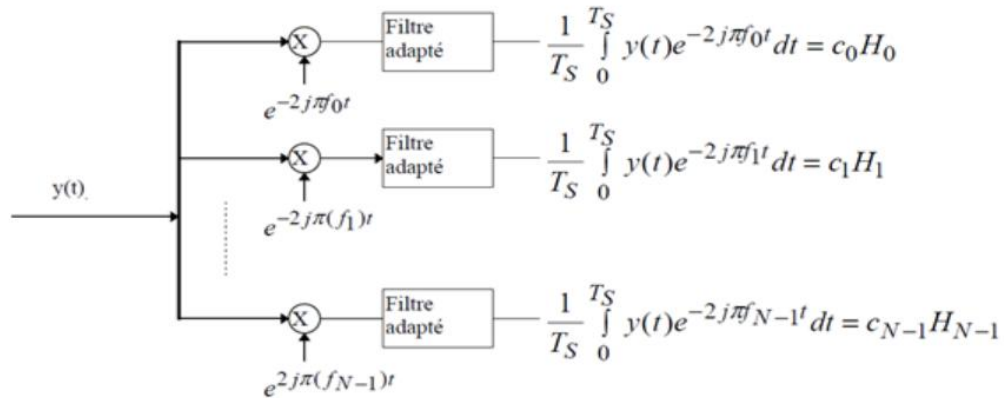


Figure I.5. Principe d'un démodulateur[35]

9.3 Intervalle de garde

Un symbole émis lors d'une période its peut se superposer à un écho provenant du symbole émis à la période (i-1). Il se produit alors des interférences. Pour éviter ces interférences, on ajoute un intervalle de garde d'une durée Δ . Chaque symbole est précédé par une extension périodique du signal lui-même. La durée du symbole totale transmis est alors $T=TS+\Delta$. Pour que les interférences soient éliminées, il faut que l'intervalle de garde soit plus grand que le plus grand des retards Tm qui apparaissent dans le canal.[35]

La Figure 6. présenteintervalle de garde.

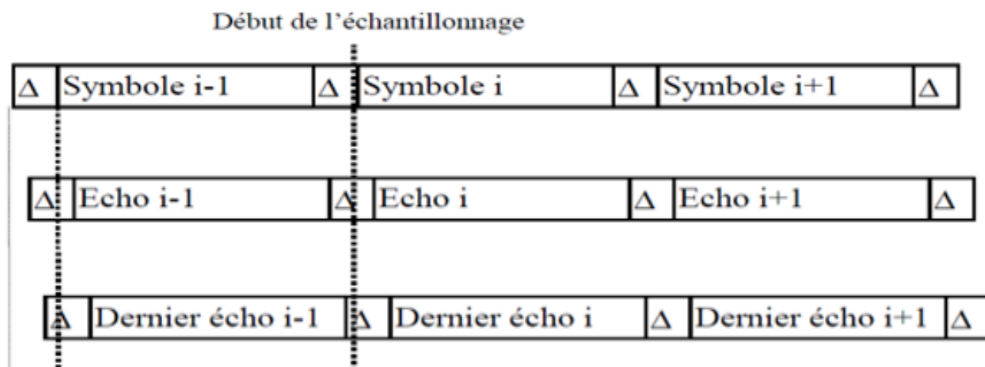


Figure I.6. Intervalle de garde[35]

10.Les apports prévus de la 6G

Il est essentiel de comprendre qu'il y a et qu'il y aura dans ces domaines un flot continu d'innovations scientifiques et technologiques structuré en générations successives. La 6G ne commencera à être normalisée que dans une dizaine d'années ; ce nom reste donc encore informel. Mais les recherches sur une nouvelle génération sont déjà bien engagées. Parmi les innovations étudiées, citons les suivantes :

L'amélioration de l'accès radio par la focalisation individualisée. Les antennes de la 5G utilisent un ensemble fixe de faisceaux de focalisation et le mobile passe d'un faisceau au suivant lors de son déplacement. Une des nouvelles directions de la 6G sera le suivi individuel des mobiles au moyen des méthodes de focalisation adaptatives comme celles décrites ci-dessous. [27]

L'utilisation de surfaces intelligentes pour améliorer l'accès radio et diminuer la consommation énergétique. Ces surfaces se comportent comme des miroirs intelligents qui redirigent toute l'énergie électromagnétique qu'elles captent sur les mobiles des utilisateurs. Ces surfaces sont divisées en quelques centaines de pixels agissant comme un ensemble de micromiroirs qui sont contrôlés en temps réel pour orienter de façon optimale le faisceau réfléchi vers l'utilisateur. Ces surfaces passives intelligentes pourront devenir très bon marché en ne consommant pratiquement aucune énergie. Ceci est à comparer à la consommation des nombreux composants électroniques qui gèrent la focalisation à partir des réseaux multiples d'antennes de la 5G. Ces surfaces pourront ainsi permettre de diminuer de façon très significative l'énergie envoyée par les stations de base classiques.[27]

11.Conclusion

- La cinquième génération (5G) de la téléphonie mobile sans fil est l'une des technologies les plus récentes dans le domaine des communications sans fil.
- le futur système 5G devrait prendre en charge la connexion de milliards d'appareils intelligents. L'existence de NOMA offre une alternative de conception prometteuse pour résoudre efficacement.
- L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une technique prometteuse qui surpasse les schémas d'accès multiples traditionnels sous de nombreux aspects.
- NOMA présente une efficacité de bande passante élevée et améliore donc le débit du système.
- d'un point de vue théorique, NOMA peut être invoquée comme une technique "complémentaire" pour toutes les techniques OMA existantes.

Chapitre II:
Non-Orthogonal Multiple Access
(NOMA)

1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler du système NOMA en détail, Dans un premier temps, nous allons parler sur les différentes technologies OMA utilisées avant, Après que nous allons examiner les motifs de penser NOMA comme une alternative à l'OMA dans l'avenir des réseaux sans fil, Ensuite, nous clarifions le principe du fonctionnement de la NOMA, en termes de liaison montante et descendante, Ensuite, nous expliquons les deux technologies les plus importantes sur lesquelles la NOMA rejoint, SC et SIC en termes d'équations.

Ensuite, nous examinons les performances NOMA, en termes de SNR, de capacité de canal, de performance SIC, de comparaison NOMA avec OMA, et de performance MIMO-NOMA comme exemple de compatibilité dans NOMA.

Ensuite, nous passons au niveau de sécurité de la NOMA, et nous mentionnons les normes les plus importantes adoptées par la NOMA.

Alors, quels sont les avantages d'utiliser la NOMA ?. Et vous surpassez les systèmes OMA ?. Et peuvent-ils être adoptés dans les futurs réseaux sans fil ?

2 . Contexte :

2.1 Accès multiple (MA) :

Étant donné que le nombre de sources de fréquences utilisées dans tout système de réseau sans fil est limité, le partage de la même source de fréquence entre de nombreux utilisateurs est évident, et c'est ce qu'on appelle l'accès multiple, de sorte que vous devez servir les utilisateurs qui sont répartis géographiquement et à des moments aléatoires avec la même efficacité, sur les générations successives dans les réseaux sans fil, de la première génération (1G) à la quatrième génération (4G), trois schémas ont été conçus, offrant un service qui partageait le même canal entre utilisateurs, chacun partageant une dimension différente, ces techniques peuvent être utilisées ensemble ou individuellement.

- Frequency-Division Multiple Access (FDMA).
- Time-Division Multiple Access (TDMA).
- Code-Division Multiple Access (CDMA).

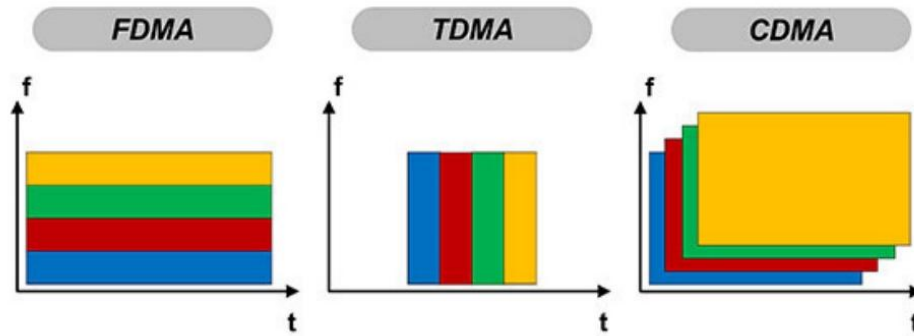


Figure II.1: Différents schémas d'accès multiples [37].

Il y a une autre dimension qui est également partagée, qui est la dimension spatiale, (SDMA) Accès multiple à la division spatiale, en utilisant des antennes dirigées, segmenter l'espace en secteurs, fonctionne en combinaison avec TDMA, FDMA ou CDMA utile.

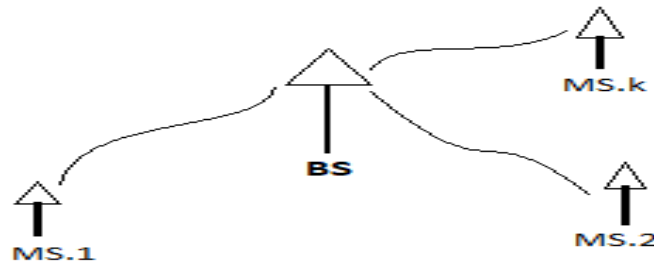


Figure II.2 : Illustrer le concept des systèmes SDMA

2.2 Accès multiple orthogonal (OMA) :

Le concept principal était qu'ils étaient les signaux de chaque utilisateur Orthogonal Sur l'autre signal, le but est d'éliminer un phénomène l'interférence entre les utilisateurs.

Dans le FDMA, la fréquence est divisée en canaux à utiliser par divers utilisateurs.

Dans le TDMA, le temps est divisé en tranches horaires afin de permettre à divers utilisateurs d'accéder à la station de base (BS).

Dans le CDMA, les utilisateurs sont séparés par des codes PN (pseudo-bruit) et transmettent en même temps sur l'ensemble du canal de fréquence.

Dans l'OFDMA, les utilisateurs sont affectés à différents canaux de fréquences (groupes de sous-entreprises) à différents créneaux horaires.

3. Accès multiple non orthogonal (NOMA)

3.1 Motivation de la NOMA :

En parlant de l'Internet des objets (IoT) et de l'avenir des réseaux sans fil (5G) et au-delà, et avec la hausse de la demande d'accès sans fil et de qualité de service (QoS), la NOMA fait

de grandes promesses pour répondre à ces demandes, lorsqu'il fournit Serve à plus d'un utilisateur sur la même ressource de temps et de fréquence, une efficacité spectrale plus élevée (plus de débit de données par Hz), mieux servir les utilisateurs debord de cellule (utilisateurs éloignés du BS), certaines applications ont besoin d'un faible débit de données (relevés de capteurs, communications machine à machine...), un gaspillage de ressources pour allouer du temps et de la fréquence.

NOMA offre également la compatibilité avec d'autres technologies sans fil telles que multi-entrée multi-sortie (MIMO) [38][39][40], NOMA a également montré la compatibilité avec la technologie Réseaux hétérogènes (HetNets)[41][42], les technologies MIMO et HetNets sont au cœur des futurs réseaux sans fil.

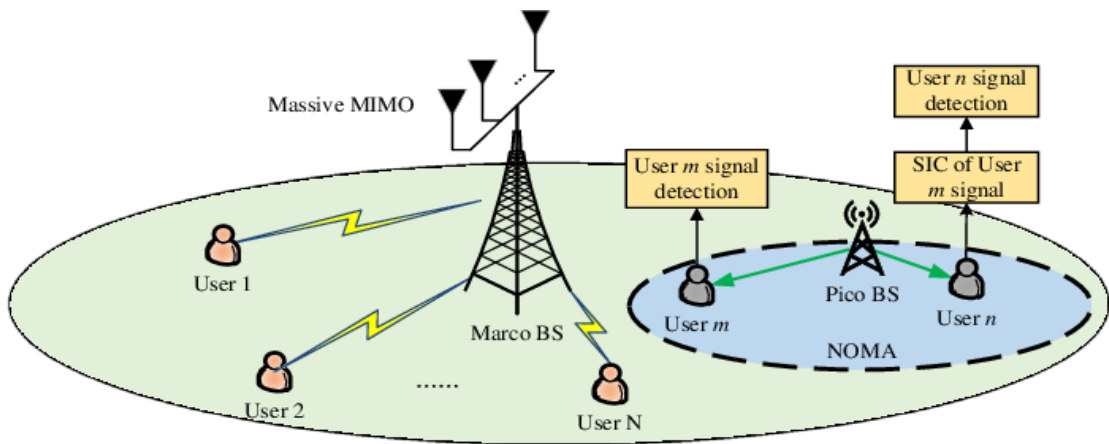


Figure II.3: Illustration de NOMA et de MIMO massives Réseaux hybrides HetNets. [43]

3.2 Fonctionnement de la NOMA :

Notez que CDMA peut être classé comme NOMA, classant ainsi les techniques d'accès multiple non orthogonales au domaine de puissance NOMA, domaine de code NOMA [44].

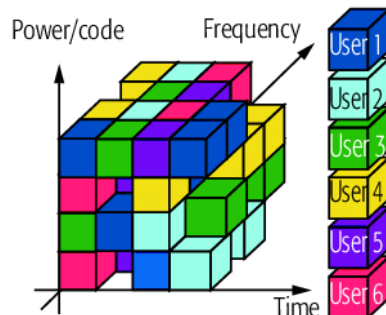


Figure II.4: illustration d'une solution NOMA possible [45].

Dans les techniques OMA, l'orthogonalité a été utilisée pour éviter les interférences entre les utilisateurs, Dans la technologie NOMA, il est complètement différent, la même fréquence et temps et code (RB) sont partagés entre les utilisateurs.

3.2.1 liaison Descendante dans NOMA:

Dans la liaison descendante, sur le BS, la technologie de codage de superposition (SC) est utilisée, les signaux de l'utilisateur sont transmis sous forme de superposition, et c'est en réglant un niveau de puissance spécifique pour chaque signal Et c'est en réglant un niveau de puissance spécifique pour chaque signal, lorsque le signal du proche utilisateur transporte moins de puissance et le signal du grand utilisateur transporte plus de puissance, Afin d'éliminer les signaux d'interférence dans le (MS), lors de la réception, (SIC) technologie est utilisée, le signal de puissance le plus grand est extrait, puis soustrait de la somme des signaux et le processus est retourné à nouveau, de sorte que le processus est répété jusqu'à ce que chaque utilisateur a son propre signal.

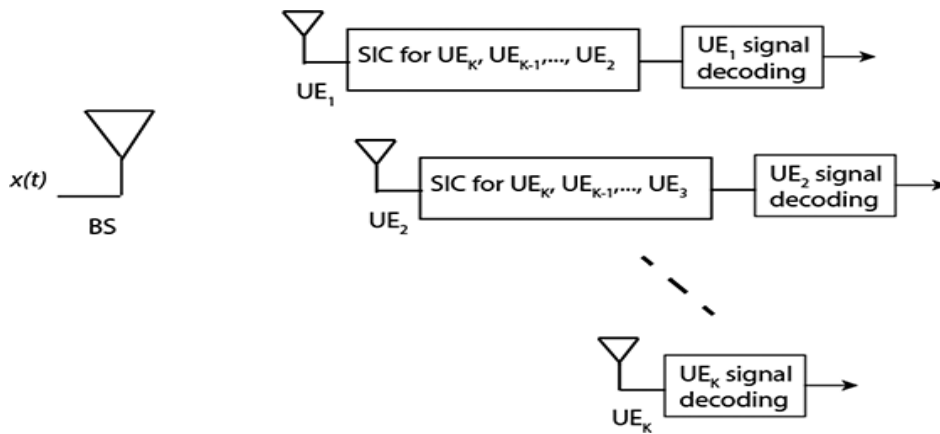


Figure II.5: liaison Descendante dans NOMA[46].

3.2.2 Liaison montante dans NOMA :

Dans la liaison montante, étant donné que chaque utilisateur envoie son signal à (BS) à un niveau de puissance différent de celui des autres utilisateurs, le même processus (SIC) est effectué sur (BS) pour détecter différents signaux utilisateur.

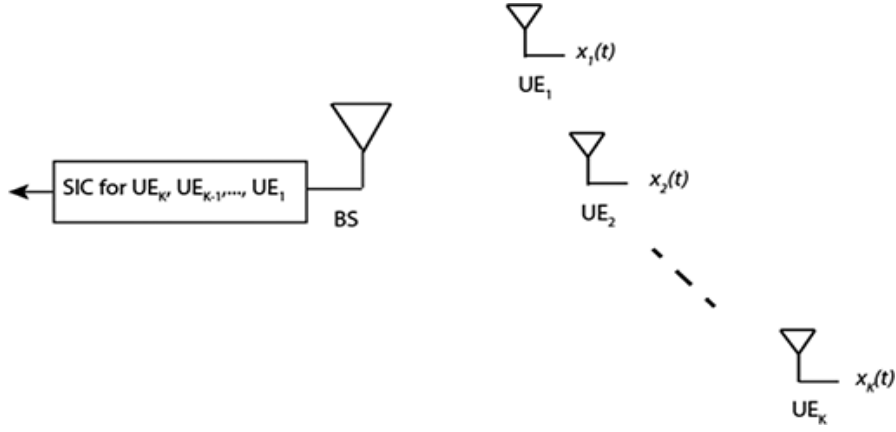


Figure II.6: Liaison montante dans NOMA[46].

3.2.3 Codage de superposition (SC) :

Tout d'abord proposé[47], travail à la couche physique, la technologie permet un ensemble de signaux à envoyer en même temps et fréquence, de sorte que chaque signal est destiné à un utilisateur spécifique.

Après l'application des techniques SC, le signal transmis serait :

$$x(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{\alpha_k P_T} x_k(t) \quad (\text{II. 1})$$

$$P_k = \alpha_k P_T \quad (\text{II. 2})$$

Avec :

$$\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1 \quad (\text{II. 3})$$

Où :

$x_k(t)$ est le signal correspondant au message de l'UE_k.

P_k est le rapport de puissance pour chaque UE_k

La différence entre les valeurs de P_k pour chaque UE_k doit être suffisamment grande pour garantir un décodage réussi du signal superposé (SIC réussi).

Figure II.7 illustre un exemple de transmission NOMA pour deux UEs, UE₁ et UE₂. Les messages M_1 et M_2 sont mappés aux signaux X_1 et X_2 , respectivement. Ces signaux sont ensuite mis à l'échelle selon les valeurs de P_1 et P_2 , puis additionnés pour générer le signal de superposition $X = \sqrt{P_1}X_1 + \sqrt{P_2}X_2$ qui est envoyé aux deux EF, avec $P_1 + P_2 = 1$. Pendant la transmission, chaque signal est affecté par l'état du canal de son récepteur respectif [48].

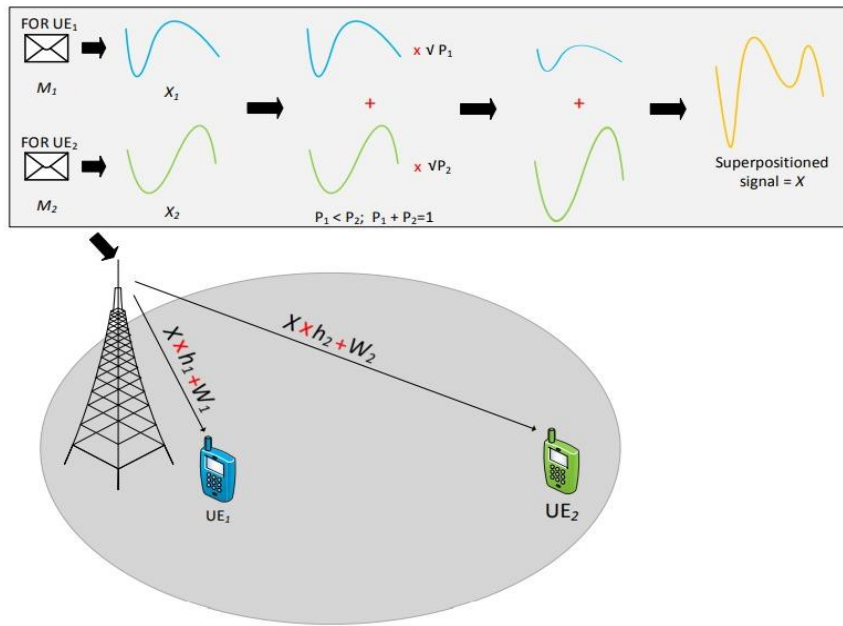


Figure II.7: Transmission de signaux en NOMA pour deux utilisateurs.[48]

3.2.3.1 Le diagramme de constellation :

Le diagramme de constellation n'est pas fixé pour la NOMA, parce que c'est encore une nouvelle technologie, c'est un gros sujet de recherche, il y a beaucoup d'exemples et de propositions, aucun d'entre eux n'a encore été inclus dans la normalisation de la NOMA.

Et c'est un exemple de cela :

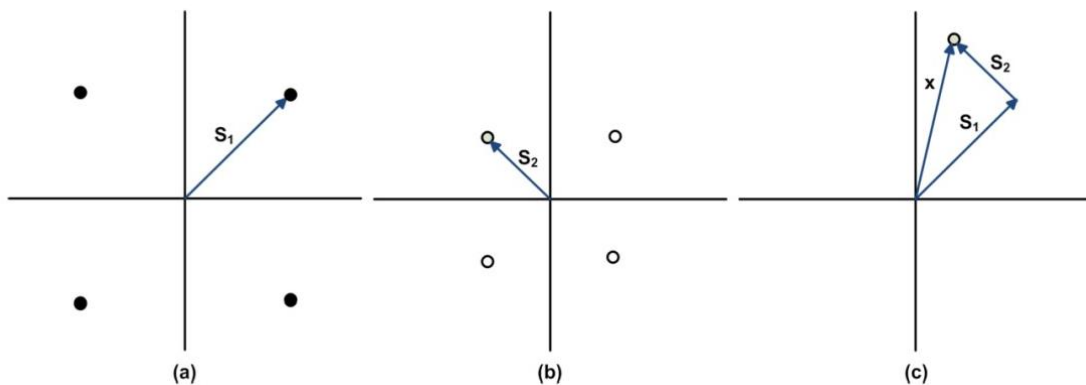


Figure II.8: Exemple d'encodage SC (a) constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) constellation de signaux de l'utilisateur 2 (c) constellation de signaux superposés. [49]

3.2.4 Annulation successive des interférences (SIC):

Le SIC qui a été proposé pour la première fois en [47], est une technique de couche physique, l'idée de base du SIC est d'exploiter les différences de puissance entre les signaux pour le décodage.

Le signal reçu $y_k(t)$ par chaque UE_k serait le suivant :

$$y_k(t) = x(t)h_k + n_k \quad (\text{II.4})$$

Où :

h_k est le facteur d'atténuation du canal pour chaque UE_k.

n_k est le bruit gaussien blanc additif à l'UE_k.

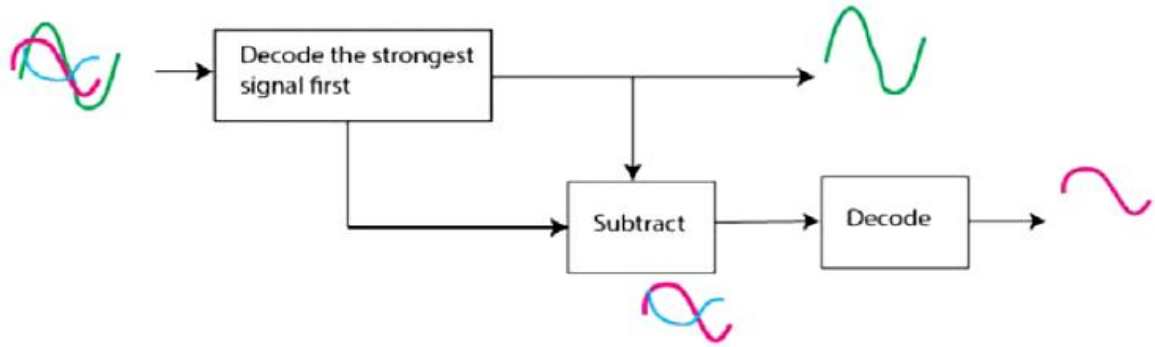


Figure II.9 : Illustration pour Annulation successive des interférences (SIC)[46].

Figure II.9 : SIC décode d'abord le signal le plus fort, puis soustrait le signal décodé du signal total, SIC itère le processus jusqu'à ce qu'il trouve son signal.

4. performance de NOMA :

4.1 rapport signal-bruit (SNR) :

Comme le signal de chaque utilisateur est un bruit pour les autres utilisateurs, nous parlerons ici du rapport signal-interférence plus bruit (SINR) au lieu de (SNR) [50] [51], Il peut être considéré comme un point négatif dans NOMA, parce que, Figure II.7 : lorsque le SNR est faible, l'efficacité spectrale est également faible [52]. Mais ce n'est pas le gros négatif. C'est ce que nous allons expliquer plus tard.

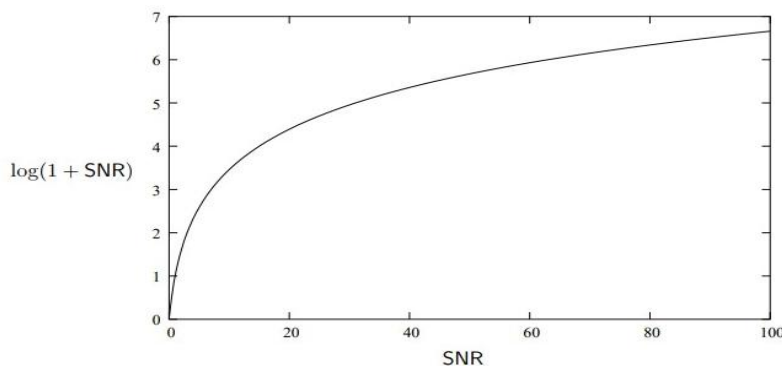


Figure II.10 : Efficacité spectrale $\log(1 + \text{SNR})$ du canal AWGN [52].

4.1.1 SINR pour la liaison descendante NOMA :

En général, pour chaque UE_k, le SINR peut s'écrire comme suit :

$$SINR_k = \frac{P_k h_k^2}{N_0 W + \sum_{k=1}^{K-1} P_k h_k^2} \quad (II. 5)$$

W : la bande passante

N_0 : puissance acoustique densité spectrale

l'utilisateur le plus éloigné. Le signal qu'il décode en premier sera son propre signal puisqu'il est alloué le plus de puissance par rapport aux autres. Les signaux pour les autres utilisateurs seront considérés comme du brouillage. Par conséquent, le rapport signal-interférence plus bruit (SINR) pour UE_{far} peut s'écrire comme suit :

$$SINR_{far} = \frac{P_{far} h_{far}^2}{N_0 W + \sum_{k=1}^{K-1} P_k h_{far}^2} \quad (II. 6)$$

l'utilisateur le plus proche, le dernier signal qu'il décode sera son signal. En supposant une annulation parfaite, le SNR pour UE_{near} devient :

$$SNR_{near} = \frac{P_{near} h_{near}^2}{N_0 W} \quad (II. 7)$$

4.1.2 SINR pour la liaison montante NOMA :

Généralement, pour chaque UE_k, le SINR peut s'écrire comme suit :

$$SINR_k = 1 + \frac{P h_k^2}{N_0 W + \sum_{k=k+1}^K P h_k^2} \quad (II. 8)$$

où P est la puissance de transmission de UE_s.

Au BS implémente SIC. Le premier signal qu'il décode sera le signal de l'utilisateur le plus proche. Le SINR pour le signal de l'UE_{near} peut s'écrire comme suit :

$$SINR_{near} = \frac{P h_{near}^2}{N_0 W + \sum_{k=2}^K P h_k^2} \quad (II. 9)$$

Le dernier signal que le BS décode est le signal pour l'utilisateur UE_{far} le plus éloigné, en supposant une annulation parfaite, le SNR pour UE_{far} devient :

$$SNR_{far} = \frac{P h_{far}^2}{N_0 W} \quad (II. 10)$$

4.2 La capacité de canal :

Lorsque NOMA est utilisé, la capacité de canal pour chaque UE_k peut être écrite comme suit :

$$C_k = W \log_2(1 + SINR_k) \quad (II. 11)$$

Bien sûr, nous devons faire preuve d'équité entre les utilisateurs, et c'est en leur donnant les mêmes capacités que possible. définit l'indice d'équité (II.12), indique l'équité de la capacité du système est partagée entre les UE_s, c'est-à-dire que lorsque F se rapproche de 1, la capacité des utilisateurs se rapproche de l'égalité [53].

$$F = \frac{(\sum C_k)^2}{K \sum C_k^2} \quad (\text{II. 12})$$

K : nombre d'utilisateurs

C'est un grand sujet de recherche, sur l'équité entre les utilisateurs, et l'atteinte d'un débit maximum possible, Il s'agit de savoir comment sélectionner les utilisateurs qui sont mis en grappe (Cluster) (un NOMA) [54].

Dans [55] la figure II.11 montre que, lorsque le SIC est utilisé, il a été atteint que le débit maximal pouvait être atteint lorsque le premier signal utilisateur était deux fois le deuxième signal utilisateur.

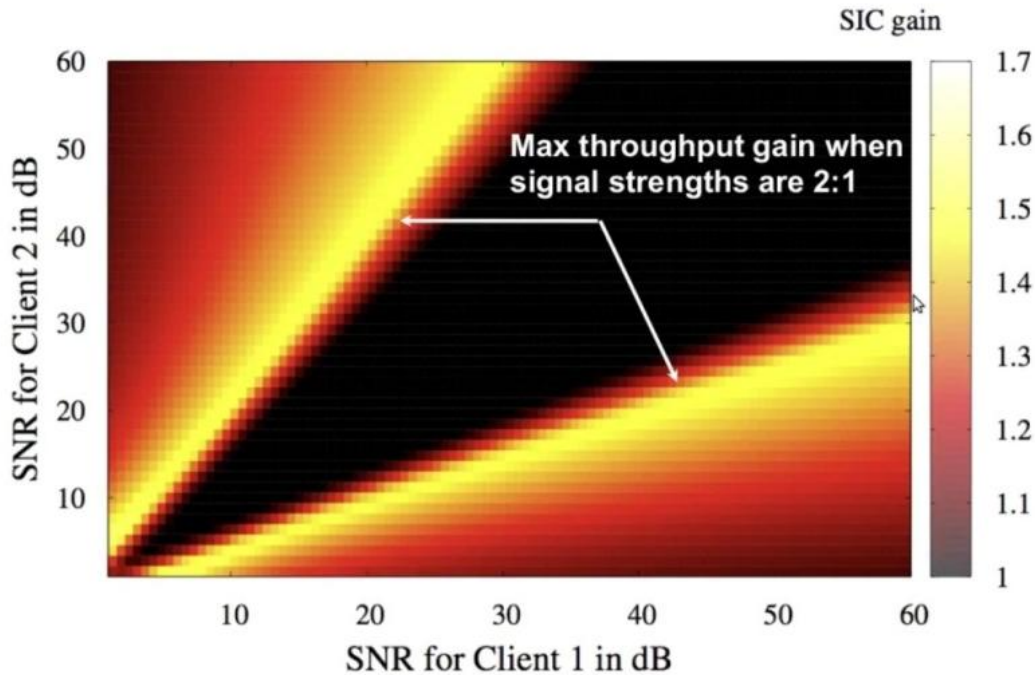


Figure II.11 : Deux émetteurs au même récepteur : SIC gagne le plus lorsque les RSSs sont tels que les débits résultants sont les mêmes pour les deux transmissions [55].

4.3 Performance du SIC :

Il est nécessaire de s'attendre à des scénarios plus réalistes et d'étudier la performance du SIC dans des situations imparfaites. Dans [56], les auteurs ont comparé les effets d'une condition imparfaite pour le SIC avec la condition parfaite de SIC dans le NOMA en liaison descendante.

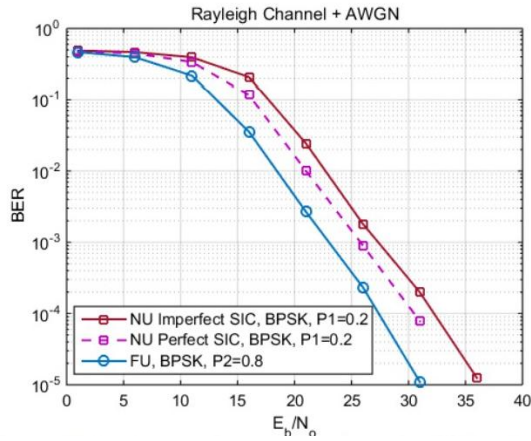


Figure II.12: Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour les liaisons descendantes NOMA, Utilisateur proche et Utilisateur éloigné : BPSK[56]

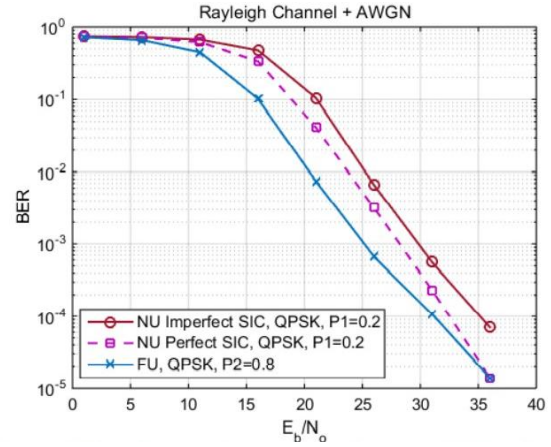


Figure II.13 : Performance BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour NOMA en liaison descendante, Utilisateur proche et Utilisateur éloigné : QPSK[56]

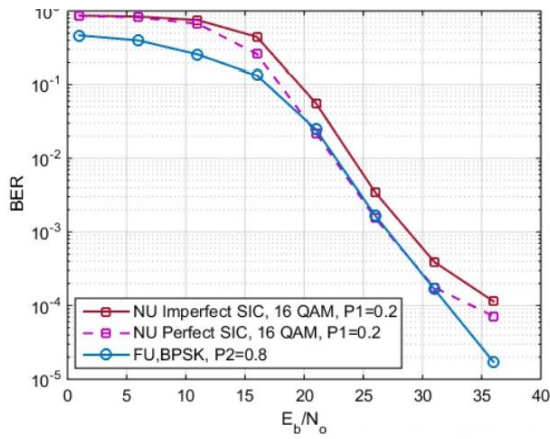


Figure II.14 : Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour le NOMA en liaison descendante, modulation adaptative ; Utilisateur proche : 16 QAM et Utilisateur éloigné : BPSK[56]

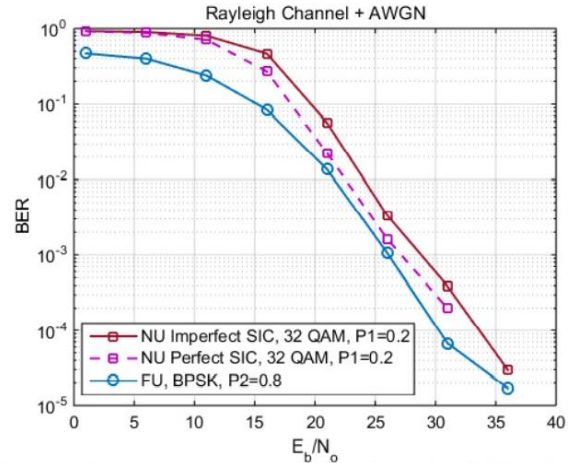


Figure II.15 : Performances BER en utilisant un SIC parfait et imparfait pour le NOMA en liaison descendante, modulation adaptative ; Utilisateur proche : 32 QAM et Utilisateur éloigné : BPSK[56]

La figure II.12 montre les performances BER pour le NU (Near User (Utilisateur proche)) et le FU (Far User (Utilisateur éloigné)) à l'aide du schéma de modulation par changement de phase binaire (BPSK). Les résultats montrent qu'en introduisant les effets de la décoloration du canal de Rayleigh et de l'AWGN, la performance BER de NU est plus réaliste que les résultats SIC parfaits. Des résultats similaires sont également montrés pour le schéma de modulation d'ordre supérieur dans la figure II.13 en utilisant la modulation (QPSK). Les mêmes résultats sont également déduits à l'aide de la technique de modulation adaptative, c'est-à-dire pour la figure II.14; NU = 16QAM, FU = BPSK et pour la figure II.15; NU = 32QAM et FU = QPSK. De plus[56], on constate que les conditions SIC parfaites ou imparfaites n'ont pas d'incidence sur le rendement de NU parce que le SIC n'est effectué qu'au NU, mais pas à FU. Cette étude fournit non seulement des résultats plus

réalistes à l'aide de la SIC, mais elle a également permis de récupérer les signaux NU et FU à l'aide des schémas de modulation adaptative, comme le montrent les résultats des figures II.14 et II.15[56].

4.4 Comparaison entre NOMA et OMA :

Dans le cas de l'OMA, la capacité totale du système peut s'écrire comme suit :

$$C_{OMA} = \sum_{k=1}^K \frac{W}{K} \log_2(1 + SNR_k) \quad (II.13)$$

Dans le cas de la NOMA, la capacité totale du système peut s'écrire comme suit :

$$C_{NOMA} = \sum_{k=1}^K W \log_2(1 + SINR_k) \quad (II.14)$$

Bien que le SINR ait un impact négatif sur la capacité [57], en revanche, nous exploitons la bande passante complète de chaque utilisateur W , il s'agit de la plus grande caractéristique offerte par le NOMA, l'effet de bande passante étant supérieur à l'effet SNR, dans l'OMA, chaque utilisateur n'exploite qu'une partie de la bande passante W/K .

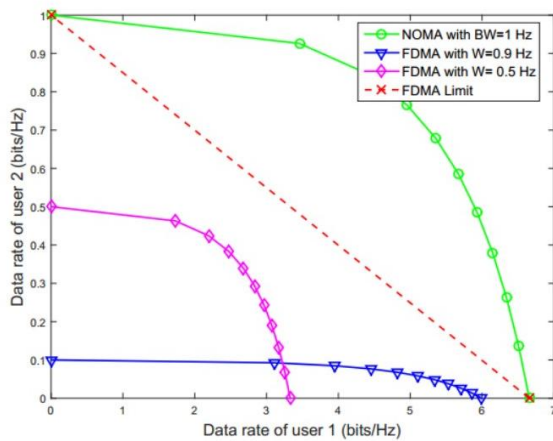


Figure II.16 : Noter la région dans 2 utilisateurs en liaison descendante NOMA et OMA.[58]

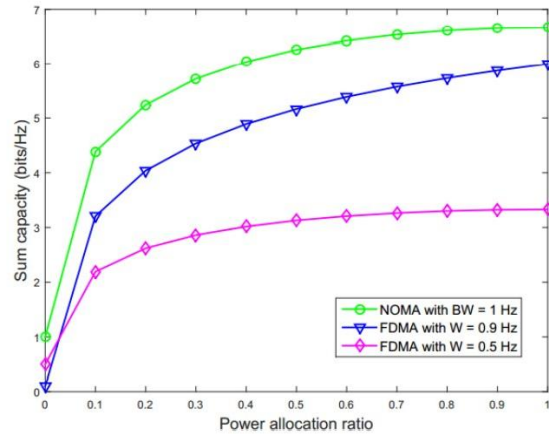


Figure II.17 : Capacité totale de 2 utilisateurs en liaison descendante NOMA et OMA.[58]

La figure II.16 présente les régions de débit de données de la liaison descendante NOMA et de l'OMA en traçant le débit de données d'un utilisateur par rapport au débit de données de l'autre utilisateur à différents rapports d'allocation de puissance avec $h_1 = 10$ et $h_2 = 1$. Comme on l'a remarqué, la région de taux de NOMA est beaucoup plus large que l'OMA [58].

A partir de la figure II.17[58], il a été constaté que le NOMA surpasse considérablement l'OMA en termes de capacité totale, quel que soit le ratio d'allocation BW.

4.5 Performance de MIMO-NOMA :

En [59] , les performances de l'accès multiple non orthogonal (NOMA) sont comparées à celles de l'accès multiple orthogonal (OMA) conventionnel sous les canaux multiples entrées-sorties (MIMO). Il est prouvé analytiquement que pour un scénario simple de deux utilisateurs, MIMO-NOMA domine MIMO-OMA en termes de taux de somme et de ergodicdébit total. En outre, pour un scénario plus pratique d'utilisateurs multiples, avec deux utilisateurs appairés dans un (cluster) et partageant un vecteur de faisceaux de transmission commun, la conclusion tient toujours. Des simulations numériques sont réalisées, qui corroborent les paramètres analytiques.

5. Sécurité dans NOMA :

La sécurité dans NOMA sera démontrée par l'introduction de la performance moyenne de la sécurité de la couche physique (PLS). Le concept de sécurité de la couche physique (PLS) qui a été proposé [60] en étudiant la conception optimale des schémas NOMA sécurisés ainsi le schéma NOMA qui minimise la puissance de transmission soumise à la coupure de secret et aux contraintes QoS qui a ensuite été conçu le schéma NOMA qui maximise le taux minimum d'information confidentielle soumise à la coupure du secret et aux contraintes de puissance de transmission, les solutions optimales montrent que l'ordre de décodage optimal pour la NOMA ne change pas en ayant la contrainte de coupure de secret dans les problèmes étudiés et on devrait augmenter le rapport de puissance alloué à l'utilisateur faible lorsque la contrainte de secret devient plus stricte, Les résultats numériques ont montré que le schéma NOMA surperforme le schéma OMA quel que soit le nombre d'utilisateurs à desservir.

En outre, la question du secret à l'égard de l'écoute clandestine externe dans les systèmes de la NOMA est à étudier. Le problème du secret chez les utilisateurs est en fait plus difficile à régler dans les systèmes de la NOMA, puisque la plupart des utilisateurs doivent décoder les signaux d'autres utilisateurs avant de décoder leurs propres signaux pour la SIC. Ainsi, comment assurer le secret parmi les utilisateurs des systèmes NOMA est une autre orientation de recherche future intéressante [61].

Dans [62], les auteurs ont proposé un nouveau schéma TSSRS-NOMA pour améliorer la sécurité de la couche physique dans les réseaux de relais coopératifs.

6. Normalisation des NOMA :

Le processus de normalisation de la NOMA est toujours en cours.

- Lors de la réunion du projet de partenariat de troisième génération (3GPP) en mai 2015, il a été décidé d'inclure la transmission de superposition multi-utilisateurs (MUST) (NOMA) dans LTE Advanced (LTE-A), termes MUST [63].
- Lors de la réunion du 3GPP en août 2015, 15 formes différentes de MUST ont été proposées par Huawei, Qualcomm, NTT DOCOMO ... etc.
- Lors de la réunion 3GPP en Décembre 2015, NOMA a été inclus dans la version LTE [64]. La technique MUST peut être rendue compatible avec la structure LTE existante, ce qui signifie que NOMA permet à deux utilisateurs d'être desservis à la même onde sous-porteuse (OFDM).
- Divers schémas de transmission non orthogonal ont été proposés pour le MUST en [64] et [63] qui peut généralement être classé en trois catégories selon [65] :
 1. Transmission de superposition avec un rapport de puissance adaptative sur chaque constellation de composants et constellation composite non Gray cartographiée.
 2. Transmission de superposition avec un rapport de puissance adaptative sur les constellations de composants et la constellation composite cartographiée en gris.
 3. Transmission de superposition avec attribution d'un bit d'étiquette sur la constellation composite et la constellation composite cartographiée en gris.
- La NOMA a été incluse dans la prochaine norme de télévision numérique, par le Comité des systèmes de télévision avancés (ATSC) 3.0 [66].
- dans le livre blanc de NTT DOCOMO, NOMA a été Identifié comme une technique clé pour 5G.

7.Conclusion

Nous pouvons résumer ce chapitre dans les points suivants :

- NOMA est impliqué dans le partage de la même RF entre les utilisateurs, en divisant le domaine de puissance entre eux.
- La transmission est basée sur la technologie SC.
- La réception est basée sur la technologie SIC.
- Le système NOMA montre de bonnes performances, de différents côtés, et dans de nombreuses études.
- Le NOMA affiche également un rendement supérieur à celui de ses systèmes OMA précédents.
- Le NOMA est très prometteuse pour l'avenir des réseaux sans fil, montrant une intégration en douceur avec les technologies de radiodiffusion de base telles que MIMO.
- Concernant la sécurité de système NOMA, les chercheurs ont fait des plans et des suggestions.
- Le processus de normalisation de NOMA se poursuit.

Chapitre III:

*Nombre d'utilisateurs prendre en
charge dans system de Single
Carrier NOMA (SC-NOMA)*

1 .Introduction :

La croissance intense du trafic cellulaire a augmenté la demande de capacité de réseau, de débits de données et de débit élevés. Pour faire face à la demande croissante de la bande passante et de capacité élevées, le groupe de partenariat de 3e génération (3GPP) a spécifié de nombreuses solutions pour les systèmes de communication mobile de 3e, 4e et 5e génération (4G) comme l'évolution à long terme (LTE) et LTE-Advanced. L'une de ces solutions consiste à utiliser des techniques d'accès multiple orthogonal (OMA) pour obtenir un bon débit au niveau du système. Cependant, avec l'augmentation du volume du trafic mobile et l'inclusion de technologies telles que l'Internet des objets (IoT), les chercheurs travaillent désormais à la poursuite de l'évolution de la 4G vers les systèmes de communication mobile de 5e génération (5G) et au-delà (futur accès radio (FRA)). Pour aller au-delà de la 5G et améliorer encore les technologies d'accès radio, les chercheurs explorent les possibilités de nouvelles techniques d'accès multiple. L'une de ces techniques récemment proposées est l'accès multiple non orthogonal (NOMA), qui est considérée comme une solution prometteuse pour obtenir de meilleures performances système que les techniques d'accès multiples existantes.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les performances desystème Single Carrier NOMA(SC-NOMA)c'est-à-dire NOMA à porteuse unique paMatlab où nous allons tester combien d'utilisateurs peuvent être pris en charge par une seule porteuse dans le système NOMA, et en apprendre davantage sur les facteurs et les problèmes qui l'affectent.

2.Single Carrier NOMA (SC-NOMA) - Combien d'utilisateurs peut-il prendre en charge ?

Nous avons vu comment l'accès multiple non orthogonal (NOMA) peut briser comme par magie la limitation de capacité rencontrée par les autres schémas d'accès multiple orthogonal (OMA) traditionnels. Les schémas OMA tels que TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA séparent respectivement les utilisateurs dans les domaines du temps, de la fréquence, du code et de la sous-porteuse. Deux utilisateurs ne sont pas autorisés à partager la même ressource simultanément. Si cette condition n'était pas respectée, des interférences se produiraient et les deux utilisateurs perdraient leurs données.

Considérons un réseau OFDMA avec 64 sous-porteuses. Si nous attribuons une sous-porteuse orthogonale par utilisateur, le nombre maximum d'utilisateurs que nous pouvons desservir simultanément est de 64. Si le 65e utilisateur demande une connexion, son appel doit être interrompu ou il doit attendre que l'un des autres utilisateurs finisse de transmettre. C'est parce que nous n'avons plus de sous-porteuse orthogonale à attribuer au nouvel utilisateur ce qui conduit à une limitation de capacité sur le nombre d'utilisateurs pouvant accéder simultanément au réseau OMA.

NOMA brise ce goulot d'étranglement de capacité en permettant la transmission simultanée de plusieurs utilisateurs sur la même porteuse de fréquence. Bien sûr, des interférences se produiraient. Mais NOMA utilise une technique appelée annulation d'interférences successives (SIC) pour supprimer intelligemment les interférences.

Jusqu'à présent, nous avons vu environ deux utilisateurs NOMA et trois simulations d'utilisateurs NOMA.

Mais la question à poser est combien d'utilisateurs peuvent supporter une porteuse ?

Il est clair qu'y aura un compromis entre le nombre d'utilisateurs et l'opération de SIC, cette dernière nécessite d'extraire l'information d'un utilisateur parmi les signaux reçus.

2.1 Complexité SIC chez les grands nombre utilisateurs

Nous savons que, lors de l'exécution d'un codage de superposition côté émetteur, les utilisateurs sont classés en fonction de leurs conditions de canal dont, l'utilisateur le plus faible se voit bénéficier plus de puissance. Par exemple, si nous avons K utilisateurs, et s'ils sont ordonnés de telle sorte que $|h_1|^2 < |h_2|^2 < \dots < |h_K|^2$, alors leurs coefficients d'allocation de puissance correspondants seront ordonnés comme $\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_K$.

Tout en faisant cette allocation de puissance, nous devons nous assurer que, $\alpha_1 > \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_K$ et $\alpha_2 > \alpha_3 + \alpha_4 + \dots + \alpha_K$, $\alpha_3 > \alpha_4 + \dots + \alpha_K$ et ainsi de suite.

Du côté du récepteur, l'utilisateur le plus faible, c'est-à-dire U_1 , effectuera un décodage

direct. Puisque $\alpha_1 > \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_K$, toutes les données des autres utilisateurs sont considérées comme des interférences. Ainsi, U1 n'implique aucun traitement complexe. Passons à U2, dont, le signal reçu de U2, les données de U1 domineront car $\alpha_1 > \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_K$. Ainsi, U2 doit d'abord effectuer SIC pour estimer et supprimer les données de U1. Une fois les données de U1 supprimées, nous aurons, $\alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4 > \dots + \alpha_K$. Alors maintenant, les données de U2 dominent. Ainsi, U2 peut effectuer un décodage direct, en traitant les données des utilisateurs U2, U3, ... comme des interférences.

De la même manière, U3 doit exécuter SIC pour supprimer les données de U1 et U2 avant de décoder son propre signal. U4 doit supprimer les données de U1, U2 et U3 avant de décoder son propre signal. Dans le même ordre d'idées, combien de fois l'utilisateur le plus puissant devrait-il effectuer le SIC avant de décoder ses propres données ? $K-1$ fois. Il doit supprimer les données de chaque utilisateur de son signal reçu. Alors seulement α_K dominera.

Ainsi, si nous multiplexons 100 utilisateurs dans le même support, le 100ème utilisateur doit effectuer 99 fois SIC avant de décoder ses propres données. Ceci est non seulement complexe sur le plan informatique, *mais prend également beaucoup de temps, ce qui entraîne un retard de traitement.*

Comme si ce traitement lui-même n'était pas assez compliqué, un nouveau problème appelé propagation d'erreur SIC se produira également. Par exemple, U5 doit effectuer SIC pour les données de U1, U2, ... U4. Si les données de U1 sont décodées par erreur, cela conduira à la soustraction d'un signal erroné dans le processus SIC, ce qui conduira à un décodage erroné des données de U2 et cette erreur se propagera au décodage des propres données de U5.

Mais ce n'est pas le seul problème avec le multiplexage d'un grand nombre d'utilisateurs dans la même porteuse.

2.2 Le problème de l'interférence chez les utilisateurs faibles

Encore une fois, supposons que nous ayons K utilisateurs, avec U1 comme utilisateur le plus faible et U_K comme utilisateur le plus fort. U_K a déjà le problème des exigences de traitement du signal compliquées. Maintenant, le problème avec U1 est le suivant : U1 effectue un décodage direct en traitant les données de tous les autres utilisateurs comme des interférences. Ainsi, l'équation de taux réalisable de U1 aura $K-1$ termes d'interférence. Il ressemblera à ceci :

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 p |h_1|^2}{((\alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_K) \times P |h_1|^2 + \sigma^2)} \right) \quad (\text{III. 1})$$

De la même manière, l'équation de taux réalisable de U2 sera :

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_2 p |h_2|^2}{((\alpha_3 + \alpha_4 + \dots \alpha_K) \times P |h_2|^2 + \sigma^2)} \right) \quad (\text{III. 2})$$

On voit déjà le problème car la quantité d'interférences auxquelles sont confrontés les utilisateurs est plus élevée lorsque plusieurs utilisateurs sont multiplexés sur la même porteuse.

2.3 Problème de la répartition du puissance

Lorsque nous avons deux utilisateurs, nous avons arbitrairement choisi $\alpha_1 = 0,75$ et $\alpha_2 = 0,25$. Ce faisant, nous avons pu facilement satisfaire les conditions $\alpha_1 > \alpha_2$ et $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$. Lorsque nous avons trois utilisateurs, dans ce post, nous choisissons $\alpha_1 = 0,85$, $\alpha_2 = 0,15$ et $\alpha_3 = 0,05$.donc satisfaisant.

- $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$
- $\alpha_1 > (\alpha_2 + \alpha_3)$
- $\alpha_2 > \alpha_3$

et

- $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$

Quand on a k utilisateurs, on a encore plus de conditions à satisfaire.

- $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \dots > \alpha_K$
- $\alpha_1 > \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_K$
- $\alpha_2 > \alpha_3 + \alpha_4 + \dots + \alpha_K$
- $\alpha_m > \alpha_{m+1} + \alpha_{m+2} + \dots + \alpha_k$

et

- $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_k = 1$

Comment choisit-on $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ pour satisfaire toutes ces conditions ? Évidemment, il est assez compliqué de les sélectionner par essais et erreurs. Voyons donc une méthode d'allocation de puissance pour résoudre ce problème.

2.4 Une méthode d'allocation de puissance pour NOMA mono-utilisateur multi-utilisateurs

Tout d'abord, choisissez la fraction inférieure à 1. Par exemple, 3/4 ou 2/5 etc. Prenons 3/4. Commencez par l'utilisateur le plus faible. Pour U1, définissez $\alpha_1=3/4$.

- Si $k=2$, ajuster $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$. Sinon, réglez $\alpha_2 = \frac{3}{4}(1 - \alpha_1)$.
- Si $k=3$, ajuster $\alpha_3 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$. sinon, réglez $\alpha_3 = \frac{3}{4}(1 - (\alpha_1 + \alpha_2))$.
- Si $k=4$, ajuster $\alpha_4 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$. sinon, réglez $\alpha_4 = \frac{3}{4}(1 - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3))$.
- Si $k=m$, ajuster $\alpha_m = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{m-1})$. sinon, réglez $\alpha_m = \frac{3}{4}(1 - \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{m-1})$.

En suivant cette heuristique à plusieurs reprises à tous les utilisateurs, nous arriverons à une solution d'allocation de puissance qui satisfait toutes les conditions mentionnées dans la section précédente.

Bien que cet algorithme garantisse une allocation de puissance appropriée en termes de respect des conditions requises, nous pouvons immédiatement voir apparaître un nouveau problème : à mesure que de plus en plus d'utilisateurs sont pressés dans le réseau, l'utilisateur le plus puissant se verra attribuer de moins en moins de puissance. Cela conduira à une diminution de son débit de données réalisable.

3. Evaluation des performances

Maintenant que nous avons vu certains des problèmes rencontrés par ce que nous appelons le NOMA à porteuse unique (ou SC-NOMA), faisons une simulation MATLAB pour voir tous ces problèmes en vigueur. Traçons le taux de somme réalisable d'un réseau SC-NOMA en faisant varier le nombre d'utilisateurs multiplexés.

Les figure III.1, III.2, III.3 et III.4 illustrent la somme des taux en terme de nombre d'utilisateurs, pour différentes puissances de transmission (issue de la BTS) à : 10 dBm ,20 dBm , 30 dBm, 40 dBm. Respectivement.

La figure III.5 présente les résultats obtenus par les figures III.1, III.2, III.3 et III.4.

La somme des taux est calculée en utilisant l'expression suivante :

$$R_T = \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_k p |h_k|^2}{((\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_K) \times P |h_k|^2 + \sigma^2)} \right) \quad (\text{III. 3})$$

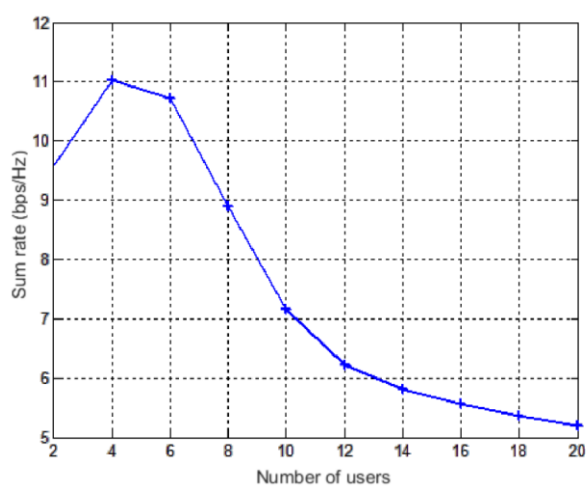


Figure III.1 Simulation pour la puissance = 10 dBm

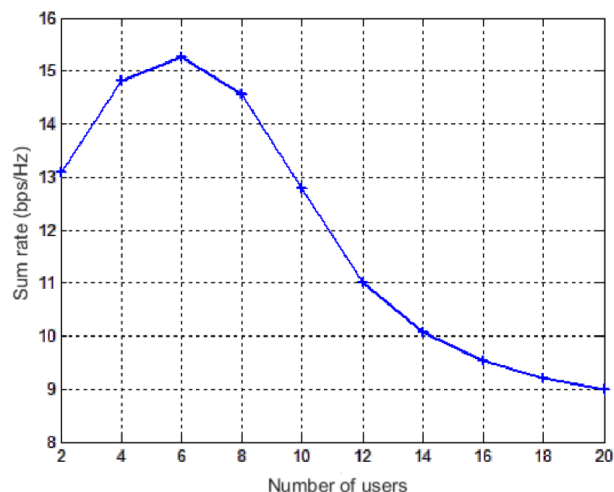


Figure III.2 Simulation pour la puissance = 20 dBm

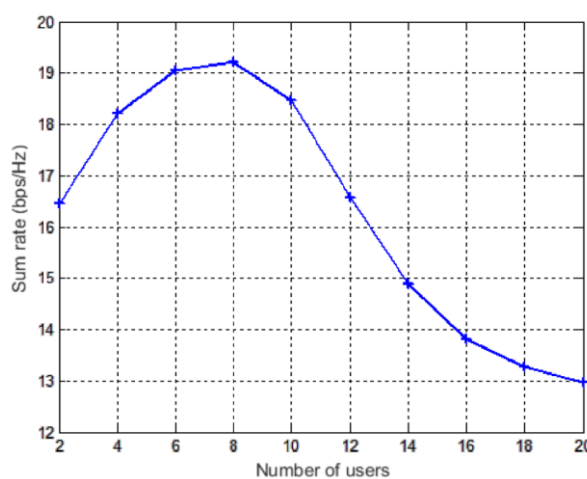


Figure III.3 Simulation pour la puissance = 30 dBm

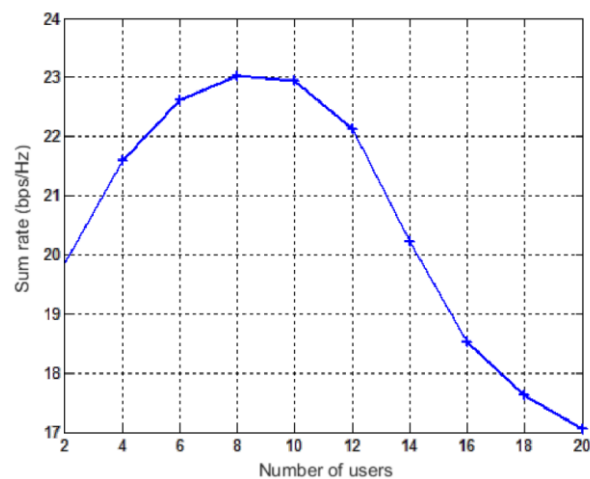


Figure III.4 Simulation pour la puissance = 40 dBm

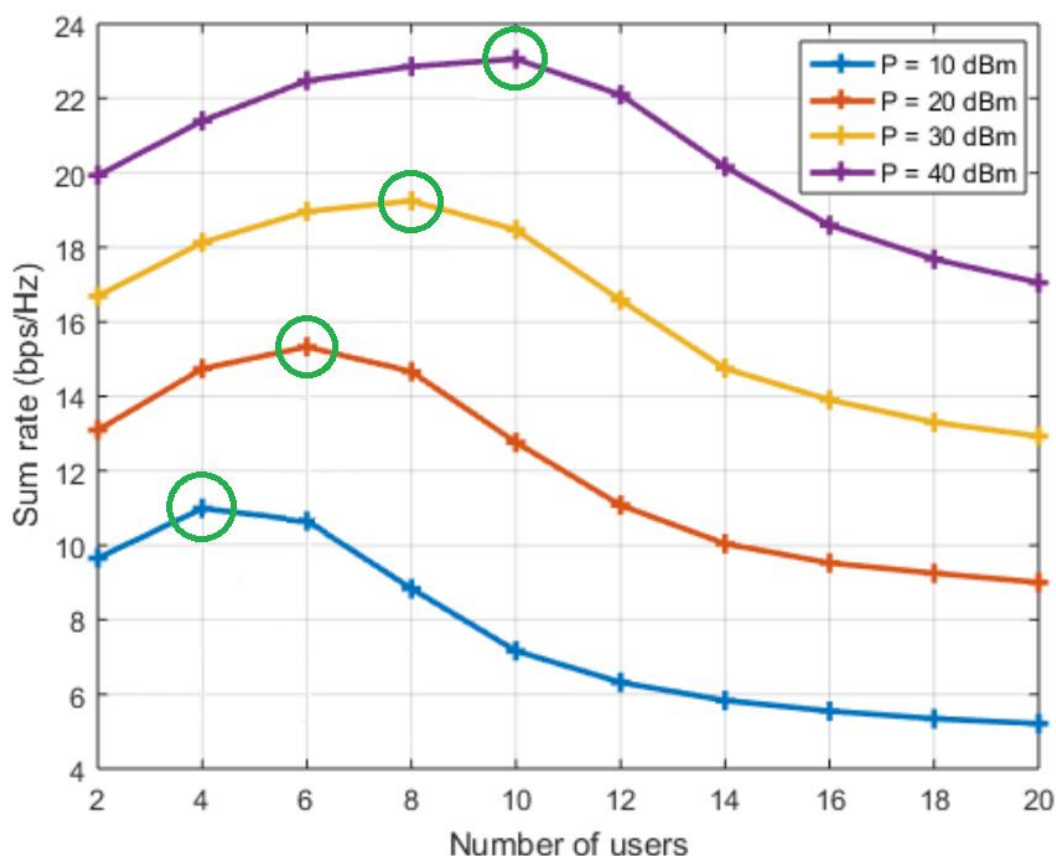


Figure III.5 recueillons des graphiques pour faciliter le processus de comparaison

4.Analyse des résultats

Figure III.5:dans un premier temps, à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente le débit total atteint pour le système, parce que chaque utilisateur supplémentaire utilise une bande passante complète, atteignant même **le point de chute**, c'est à ce moment que l'impact des problèmes susmentionnés (limitation de SIC à cause du nombre d'utilisateurs), sur le système devient important, lorsque chaque nouvel utilisateur devient un fardeau (présente un interférence) pour le reste, **le point de chute peut être retardé en augmentant la puissance** de transmission totale.

5. Les Remarques

- Au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs de SC-NOMA augmente, la capacité totale du réseau augmente initialement, puis chute et sature.
- Cette augmentation initiale est due aux mêmes raisons que NOMA offre une meilleure capacité que OMA. Les niveaux d'interférence sont gérables et l'utilisateur le plus puissant, bien qu'il reçoive le moins de puissance, reçoit une puissance respectable.
- On observe un point de chute au-delà duquel la capacité chute. Ce point de chute peut être considéré comme la limite maximale du nombre d'utilisateurs pouvant être admis dans le réseau sans aucune dégradation des performances.
- Le point de chute se déplace vers la droite à mesure que la puissance d'émission augmente. Autrement dit, lorsque la puissance de transmission de 10 dBm a été utilisée, le taux de somme a commencé à diminuer au-delà de 4 utilisateurs. Mais lorsqu'une puissance de transmission de 40 dBm était utilisée, le point de chute dépassait 10 utilisateurs. Ce comportement est principalement dû à la stratégie d'allocation de puissance que nous avons adoptée. L'utilisateur le plus faible se verra attribuer la plus petite fraction de puissance et une petite fraction de 40 dBm est supérieure à une petite fraction de 10 dBm.
- Ainsi, pour accueillir plus d'utilisateurs sans dégradation des performances, nous devons augmenter la puissance d'émission.

6. Conclusion

De notre simulation, nous avons constaté que nous ne pouvons pas continuer à augmenter le nombre d'utilisateurs multiplexés dans le même transporteur. Ainsi, pour répondre à nos questions initiales, le multiplexage de 100 utilisateurs dans la même porteuse posera plus de problèmes en termes de complexité de calcul SIC, de délai, de calcul d'allocation de puissance et de réduction du débit réalisable. La limite supérieure du nombre d'utilisateurs est déterminée par le point de chute de notre graphique.



Conclusion générale

Conclusion générale

En ce qui concerne le développement des formats MA, dans le (1G), (FDMA) a été combiné avec une technologie de modulation de fréquence analogique, bien que la signalisation numérique de canal de commande ait été utilisée. Dans la deuxième génération (2G), on a utilisé l'accès multiple à la division du temps des communications GSM. Ensuite, le code division accès multiple (CDMA), est devenu la MA dominante dans les réseaux 3G. Dans un effort pour surmonter la limitation inhérente de (CDMA), à savoir que le taux de puce doit être beaucoup plus élevé que le taux de données d'information, l'accès multiple à la division de fréquence orthogonale (OFDMA) a été adopté pour les réseaux 4G.

Selon que la même ressource de temps ou de fréquence peut être occupée par plus d'un utilisateur, les techniques d'AM existantes peuvent être catégorisées en techniques d'OMA et de NOMA. Parmi les techniques MA, FDMA, TDMA et OFDMA permettent à un seul utilisateur d'être servi dans le même bloc de ressources temps/fréquence (RB), qui appartiennent à l'approche OMA. En revanche, (CDMA) permet à plusieurs utilisateurs d'être pris en charge par le même RB à l'aide de l'application différente unique.

L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est l'une des techniques d'accès radio prometteuses pour améliorer le rendement des communications cellulaires de prochaine génération. Comparativement à l'accès multiple par division de fréquence orthogonale (OFDMA), qui est une technique d'accès multiple orthogonal à haute capacité (OMA) bien connue, l'NOMA offre un ensemble d'avantages souhaitables, y compris une plus grande efficacité du spectre. Il existe différents types de techniques NOMA, y compris le domaine de puissance et le domaine de code. Cette mémoire se concentre principalement sur le NOMA du domaine de puissance qui utilise le codage de superposition (SC) à l'émetteur et l'annulation du brouillage successif (SIC) au récepteur. Divers chercheurs ont démontré que la NOMA peut être utilisée efficacement pour répondre aux exigences en matière de débit de données au niveau du réseau et de l'expérience utilisateur des technologies de cinquième génération (5G).

De ce point de vue, cette mémoire examine de manière exhaustive les progrès récents de la NOMA dans les systèmes 5G, en examinant l'analyse de la capacité de pointe, les stratégies d'allocation de puissance, l'équité des utilisateurs et l'étude de la performance du système SC-NOMA, en termes de nombre d'utilisateurs possibles.

De notre simulation, nous avons constaté que nous ne pouvons pas continuer à augmenter le nombre d'utilisateurs multiplexés dans le même transporteur. posera plus de problèmes en termes de complexité de calcul SIC, de délai, de calcul d'allocation de puissance

et de réduction du débit réalisable. La limite supérieure du nombre d'utilisateurs est déterminée par le point de chute de notre graphique.

La NOMA reste un vaste champ de recherche, et ces points de recherche peuvent être considérés :

- Sélection de l'appairage utilisateur Rapport de partage de puissance.
- Utilisation de plusieurs antennes.
- des scénarios plus réalistes.

Résumé :

Le système Non Orthogonal Multiple Access (NOMA) (d'accès multiple non orthogonal) peut en remédier au problème de la limitation de capacité rencontrée par les autres schémas traditionnels d'accès multiple orthogonal (OMA). Les schémas OMA tels que TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA séparent les utilisateurs respectivement dans le temps, la fréquence, le code et les domaines de sous-porteuse. Deux utilisateurs ne sont pas autorisés à partager la même ressource simultanément. Si cette condition est violée, des interférences se produiraient et les deux utilisateurs perdraient leurs données. Dans ce travail on étudie l'allocation des puissances et l'efficacité spectrales en termes d'utilisateurs.

Nous avons analysé le système SC-NOMA, pour tester le nombre d'utilisateurs que le système peut accueillir, nous utilisons Matlab pour simuler les résultats, les résultats ont montré que le nombre d'utilisateurs est associé à la puissance d'émission, pour accueillir plus d'utilisateurs sans dégradation des performances, nous devons augmenter la puissance d'émission.

Mots clés : TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, NOMA, OMA, allocation de puissance, SC-NOMA

ABSTRACT:

The Non Orthogonal Multiple Access (NOMA) system can remedy the problem of capacity limitation encountered by other traditional orthogonal multiple access (OMA) schemes. OMA schemes such as TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA separate users respectively in time, frequency, code and sub-carrier domains. Two users are not allowed to share the same resource simultaneously. If this condition is violated, interference would occur and both users would lose their data. In this work we study power allocation and spectral efficiency in terms of users.

We analyzed the SC-NOMA system, to test the number of users the system can accommodate, we use Matlab to simulate the results, the results showed that the number of users is associated with the emission power, to accommodate more users without performance degradation, we need to increase transmission power.

Keywords:TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA , NOMA, OMA, power allocation, SC-NOMA

المخلص:

يمكن لنظام الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) معالجة مشكلة الحد من السعة التي تواجهها مخططات الوصول المتعدد المتعامدة التقليدية الأخرى (OMA). مخططات OMA مثل TDMA و FDMA و CDMA و OFDMA مستخدمين منفصلين من حيث الوقت والتردد والشفرة ونطاقات الناقل الفرعي على التوالي. لا يُسمح لمستخدمين اثنين بمشاركة نفس المورد في وقت واحد. إذا تم انتهاك هذا الشرط، فسيحدث تداخل وسيُفقد كلا المستخدمين بياناتهما. في هذا العمل ندرس تخصيص الطاقة والكفاءة الطيفية من حيث المستخدمين. قمنا بتحليل نظام SC-NOMA، لاختبار عدد المستخدمين الذين يمكن للنظام استيعابهم، نستخدم ماتلاب لمحاكاة النتائج، وأظهرت النتائج أن عدد المستخدمين مرتبط بقوة ال نقل، لاستيعاب المزيد من المستخدمين دون تدهور الأداء، نحن بحاجة إلى زيادة قوة النقل.

الكلمات المفتاحية:SC-NOMA, NOMA, OMA, TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, تخصيص الطاقة،

Référence :

- [1] P. Latina « Comienza China pruebas de tecnología 5G » número 7, La Habana, Cuba, 5 janvier 2016.
- [2] In Mémoire de fin d'études. Envie de l'obtention du diplôme de Master académique. En: Télécommunication. Spécialité: Systèmes de télécommunication. Par: Necib Abdelbadie Et Debbeche Hocine. Comparaison des performances entre NOMA et OFDM pour le réseau 5G
- [3] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *IEEE Proc. of Veh. Technol. Conf. (VTC)*, Jun. Dresden, Germany, Jun. 2013, pp. 1–5.
- [4] Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 1462–1465, Aug. 2015.,
- [5] S. Chen, B. Ren, Q. Gao, S. Kang, S. Sun, and K. Niu, "Pattern division multiple access PDMA - A novel non-orthogonal multiple access for 5G radio networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2016.,
- [6] L. Ping, L. Liu, K. Wu, and W. K. Leung, "Interleave division multiple-access," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 4, pp. 938–947, Apr. 2006
- [7] H. Nikopour and H. Baligh, "Sparse code multiple access," in *IEEE Proc. of Personal, Indoor, and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, Sep. 2013, pp. 332–336
- [8] J.J. Caffery and G.L. Stuber, "Overview of radiolocation in CDMA cellular systems", *IEEE Communications Magazine*, 36(4):3845, apr 1998. 26
- [9] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Technical Specification Group Radio
- [10] A. Benjebbour, A. Li, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Harada, and T. Nakamura "System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements" in *proc. IEEE Globecom*, 2013.
- [11] LTE, ETSI. "Evolved universal terrestrial radio access (e-utra) and evolved universal terrestrial radio access network (e-utran) (3gpp ts 36.300, version 8.11. 0 release 8), december 2009." ETSI TS 136.300 (2015): V8
- [12] ETSI, Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); overall description; stage 2 (3GPP TS 36.300 version 10.5.0 Release 10), ETSI TS 136 300 V10.5.0, Nov. 2011
- [13] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, *LTE The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. Wiley, 2009.
- [14] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Academic Press, 2011.
- [15] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Academic Press, 2011.
- [16] D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, and S. Parkvall, *LTE: the evolution of mobile broadband*, *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 4, pp. 4451, Apr.

2009.

- [17] R. V. Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications. ArtechHouse, 2000
- [18] T. Jiang and Y. Wu, An overview: Peak-to-average power ratio reduction techniques for OFDM signals, IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 54, no. 2, pp.257-268, June 2008
- [19] M. Rana, M. Islam, and A. Kouzani, Peak to average power ratio analysis for LTE systems, in IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Feb. 2010, pp. 516-520
- [20] G. Berardinelli, L. Ruiz de Temino, S. Frattasi, M. Rahman, and P. Mogensen, OFDMA vs. SC-FDMA: performance comparison in local area IMT-A scenarios, IEEE Wireless Communications, vol. 15, no. 5, pp. 647-2, Oct. 2008.
- [21] W. Nam, D. Bai, J. Lee, and I. Kang, Advanced interference management for 5G cellular networks, IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 52-60, May 2014
- [22] J. Andrews, S. Singh, Q. Ye, X. Lin, and H. Dhillon, An overview of load balancing in hetnets: old myths and open problems, IEEE Wireless Communications, vol. 21, no. 2, pp. 18-25, Apr. 2014.
- [23] Hosein Nikopour, Eric Yi, Alireza Bayesteh, Kelvin Au, Mark Hawryluck, Hadi Baligh, and Jianglei Ma. SCMA for downlink multiple access of 5G wireless networks. In 2014 IEEE Global Communications Conference, pages 3940-3945. IEEE, dec 2014. 49
- [24] A. Benjebbour, A. Li, K. Saito, Y. Saito, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, NOMA: From concept to standardization, in IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), Oct. 2015, pp. 18-23
- [25] Benjebbour, A., Saito, Y., Kishiyama, Y., Li, A., Harada, A, Nakamura, T., Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access, in *Proc. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)* (2013).
- [26] G. Wunder, M. Kasparick, S. ten Brink, F. Schaich, T. Wild, Y. Chen, I. Gaspar, N. Michailow, G. Fettweis, D. Ktenas, N. Cassiau, M. Dryjanski, K. Sorokosz, S. Pietrzyk, and B. Eged, System-level interfaces and performance evaluation methodology for 5G physical layer based on non-orthogonal waveforms, in Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Nov. 2013, pp. 1659-163
- [27] A. N'gom, A. Diallo, A.C. Beye, J.M. Ribero, "Sous-réseau d'antennes adaptatif destiné aux réseaux 'small cells' pour la 5G" Assemblée générale GDR ONDES "Interférences d'Ondes" Sophia Antipolis 23-25 Octobre 2017
- [28] RAPPORT SUR LA 5G ET LES RÉSEAUX DE COMMUNICATIONS MOBILES
Rapport de l'Académie des sciences – 12 juillet 2021 *Groupe de travail de l'Académie des*

- [29] M. H. Abu Saada « Design Of Efficient MillimeterWavePlanarAntennas For 5g Communication Systems » Mémoire de Master, Université Islamique de Gaza 2017
- [30] FEI Hu « Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective » Livre, 5 avril 2016
- [31] A. Gohil, H. Modi, S. K. Patel « 5g Technology Of Mobile Communication : A Survey » Conférence Internationale Sur Les Systèmes Intelligents Et Le Traitement Du Signal 2013.
- [32] A. Gohil, H. Modi, S. K. Patel « 5g Technology Of Mobile Communication : A Survey » Conférence Internationale Sur Les Systèmes Intelligents Et Le Traitement Du Signal 2013.
- [33] E. Hossain, M. Rasti, H. Tabassum, A. Abdel Nasser « Evolution towards 5g Multi-Tier Cellular Wireless Networks: An Interference Management Perspective » IEEE Wireless Communications Conférence 17 Feb 2014.
- [34] Abdoulaye Chaïbo, A. Ngom, Mahamoud Youssouf Khayal, Kharouna Talla, Aboubaker Chedikh Beye "A Novel Bow-Tie Antenna with Triple Band-Notched Characteristics for UWB Applications" Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2016, 8, 271-282
- [35] Lamine Sane, Assane N'gom, Ibra Doum, Idy Diop, Khaly Tall; M. Mansour Khouma; Kadidiatou Diallo; Sidi Mouhamed Farssi "Dual-band pattern reconfigurable 5G antenna using dual-band blc" Conference on antenna measurement and applications (CAMA2018), 03/09/2018, Vasteras
- [36] In mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master. En : télécommunications Spécialité : réseaux et télécommunications. Par : mokhefiakila et metahriimene. Etude et simulation de méthode de Beamforming pour des systèmes de Modulation multi-porteuse pour la 5 G. Soutenu publiquement, le 21 /06 / 2018
- [37] Shah, AFM Shahan, et al. "Survey and performance evaluation of multiple access schemes for next-generation wireless communication systems." *IEEE Access* 9 (2021): 113428-113442.
- [38] Ding, Zhiguo, Fumiyuki Adachi, and H. Vincent Poor. "The application of MIMO to non-orthogonal multiple access." *IEEE transactions on wireless communications* 15.1 (2015): 537-552.
- [39] Ding, Zhiguo, Robert Schober, and H. Vincent Poor. "A general MIMO framework for NOMA downlink and uplink transmission based on signal alignment." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 15.6 (2016): 4438-4454.
- [40] Liu, Yuanwei, et al. "Fairness of user clustering in MIMO non-orthogonal multiple access systems." *IEEE Communications Letters* 20.7 (2016): 1465-1468.
- [41] Zhang, Haijun, et al. "Energy-efficient resource allocation in NOMA heterogeneous networks." *IEEE Wireless Communications* 25.2 (2018): 48-53.
- [42] Ni, Dadong, et al. "Power allocation for downlink NOMA heterogeneous networks." *IEEE Access* 6 (2018): 26742-26752.

- [43] Liu, Yuanwei, et al. "Nonorthogonal multiple access for 5G and beyond." Proceedings of the IEEE (2017).
- [44] Ding, Zhiguo, et al. "A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends." IEEE Journal on Selected Areas in Communications 35.10 (2017): 2181-2195.
- [45] Chen, Yan, et al. "Toward the standardization of non-orthogonal multiple access for next generation wireless networks." IEEE Communications Magazine 56.3 (2018): 19-27.
- [46] Kizilirmak, RefikCaglar, and HosseinKhaleghiBizaki. "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for 5G networks." *Towards 5G Wireless Networks-A Physical Layer Perspective* 83 (2016): 83-98.
- [47] Cover, Thomas. "Broadcast channels." IEEE Transactions on Information Theory 18.1 (1972): 2-
- [48] Marcano, Andrea. "Capacity dimensioning for 5G mobile heterogeneous networks." (2018).
- [49] Islam, SM Riazul, et al. "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) 5G systems: Potentials and challenges." IEEE Communications in Surveys & Tutorials 19.2 (2016): 721-742.
- [50] Haenggi, Martin, et al. "Stochastic geometry and random graphs for the analysis and design of wireless networks." IEEE journal on selected areas in communications 27.7 (2009): 1029-1046.
- [51] Haenggi, Martin. Stochastic geometry for wireless networks. Cambridge University Press, 2012.
- [52] Tse, David, and PramodViswanath. Fundamentals of wireless communication. Cambridge university press, 2005.
- [53] Jain, Rajendra K., Dah-Ming W. Chiu, and William R. Hawe. "A quantitative measure of fairness and discrimination." Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation, Hudson, MA 21 (1984).
- [54] Liu, Xin, and Xueyan Zhang. "NOMA-based resource allocation for cluster-based cognitive industrial internet of things." IEEE transactions on industrial informatics 16.8 (2019): 5379-5388
- [55] Sen, Souvik, et al. "Successive interference cancellation: A back-of-the-envelope perspective." Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks. 2010.
- [56] Usman, Muhammad Rehan, et al. "On the performance of perfect and imperfect SIC in downlink non orthogonal multiple access (NOMA)." 2016 international conference on smart green technology in electrical and information systems (ICSGTEIS). IEEE, 2016.
- [57] Andrews, Matthew, and Michael Dinitz. "Maximizing capacity in arbitrary wireless networks in the SINR model: Complexity and game theory." IEEE INFOCOM 2009. IEEE, 2009.
- [58] Islam, S. M., et al. "Non-orthogonal multiple access (NOMA): How it meets 5G and

beyond." arXiv preprint arXiv:1907.10001 (2019).

[59] Zeng, Ming, et al. "On the sum rate of MIMO-NOMA and MIMO-OMA systems." *IEEE Wireless communications letters* 6.4 (2017): 534-537.

[60] Wyner, Aaron D. "The wire-tap channel." *Bell system technical journal* 54.8 (1975): 1355-1387.

[61] He, Biao, et al. "On the design of secure non-orthogonal multiple access systems." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 35.10 (2017): 2196-2206.

[62] Feng, Youhong, et al. "Two-stage relay selection for enhancing physical layer security in non-orthogonal multiple access." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 14.6 (2018): 1670-1683.

[63] Lee, Heunchul, Sungsoo Kim, and Jong-Han Lim. "Multiuser superposition transmission (MUST) for LTE-A systems." 2016 *IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2016.

[64] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) (2015). Study on downlink multiuser superposition transmission for LTE.

[65] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) R1-154999 (2015). TP for classification of MUST schemes.

[66] Zhang, Liang, et al. "Layered-division-multiplexing: Theory and practice." *IEEE Transactions on Broadcasting* 62.1 (2016): 216-232..