



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued
Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie
Filière: Télécommunication
Spécialité: Systèmes de Télécommunication

Thème

Évaluation des performances d'un système
NOMA-MIMO

Réalisé par:

- Touati Tliba Abir
- Maamra Rabia
- Soltani Mohamed Redouane

Devant le jury composé de:

Mr. Touhami Ridha

Mr. Lakhder Nacereddine

Mr. Khelil Abdellatif

Président

Examineur

Encadreur

Année Universitaire: 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail

Je remercie mon encadreur le Mr. KHELIL Abdellatif, pour avoir dirigé ce travail, pour son aide immense, pour sa simplicité et ses valeurs uniques, il m'a toujours reçu avec sympathie et il a mis son temps et ses connaissances à ma disposition, il a suivi et encouragé les nombreuses corrections jusqu'à l'achèvement de ce travail veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

Et je lui exprime particulièrement tout ma reconnaissance pour m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ses qualités humaines.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury.

Mes remerciements à

Toutes nos gratitude à nos enseignants.

Et nos amis.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

الإهداء

نهدي هذا العمل المتواضع إلى:

والدينا.

عائلتنا.

أساتذتنا.

زملائنا.

كل أولئك الذين ساعدونا على إكمال

هذا العمل.

عبير، ربيع، محمد رضوان

Résumé

La demande de débits de données plus élevés augmente de façon exponentielle avec l'avancement des systèmes de communication sans fil. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) devrait jouer un rôle important dans les nouveaux réseaux radio 5G et au delà. Contrairement à l'accès multiples orthogonal (OMA), NOMA permet le partage efficace des mêmes ressources sur plusieurs utilisateurs. La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) peut prendre en charge plusieurs utilisateurs qui utilisent plusieurs antennes à la station de base, ce qui augmente le débit et l'efficacité spectrale. La technique NOMA MIMO permet de combiner les avantages des deux techniques et fournir de meilleurs services sans fil pour faire face aux exigences d'une connectivité massive. Dans ce mémoire, nous analysons les performances du système NOMA-MIMO en basant sur le débit et la probabilité de panne et la comparaison avec OMA MIMO. Les résultats de simulation MATLAB obtenus montrent que les performances de NOMA MIMO surmontent celles d'OMA MIMO en termes de capacité et de probabilité de panne.

Mots clés: NOMA, OMA, MIMO, capacité, probabilité de panne.

Abstract

The demand for higher data rates is increasing exponentially with the advancement of wireless communication systems. Non-orthogonal multiple access (NOMA) is expected to play an important role in new 5G radio networks and beyond. Unlike orthogonal multiple access (OMA), NOMA enables the efficient sharing of the same resources across multiple users. Multiple input multiple output (MIMO) technology can support multiple users using multiple antennas at the base station, increasing throughput and spectral efficiency. The NOMA MIMO technique combines the advantages of both techniques and provides better wireless services to meet the demands of massive connectivity. In this dissertation, we analyze the performance of the NOMA-MIMO system based on the throughput and outage probability and the comparison with OMA MIMO. The resulting MATLAB simulation results show that NOMA MIMO performance outperforms OMA MIMO in terms of capacity and outage probability

Keywords: NOMA, OMA, MIMO, capacity, outage probability.

الملخص

يتزايد الطلب على معدلات بيانات أعلى بشكل كبير مع تقدم أنظمة الاتصالات اللاسلكية. من المتوقع أن يلعب الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) دورًا مهمًا في شبكات الراديو 5G الجديدة وما بعدها. بخلاف الوصول المتعدد المتعامد (OMA)، يتيح NOMA المشاركة الفعالة لنفس الموارد عبر عدة مستخدمين. يمكن أن تدعم تقنية المدخلات المتعددة والمخرجات المتعددة (MIMO) العديد من المستخدمين باستخدام هوائيات متعددة في المحطة الأساسية، مما يزيد من الإنتاجية والكفاءة الطيفية. تجمع تقنية NOMA-MIMO بين مزايا كلتا التقنيتين وتوفر خدمات لاسلكية أفضل لتلبية متطلبات الاتصال الهائل. في هذه الرسالة، نقوم بتحليل أداء نظام NOMA-MIMO بناءً على احتمالية الإنتاجية والانقطاع والمقارنة مع OMA-MIMO. تظهر نتائج محاكاة MATLAB الناتجة أن أداء NOMA-MIMO يتفوق على OMA-MIMO من حيث السعة واحتمال الانقطاع.

الكلمات المفتاحية: NOMA، OMA، MIMO، السعة، احتمالية الانقطاع.

Sommaire

Remerciements	
Résumé	i
Sommaire	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Liste des abréviations	ix
Introduction générale	01

Chapitre 1: Techniques d'accès multiples (OMA/ NOMA)

1.1 introduction	03
1.2 Techniques d'accès multiples	03
1.3 Orthogonal Multiple Access (OMA) Schémas	03
1.3.1 TDMA (accès multiple par répartition dans le temps)	04
1.3.2 FDMA (accès multiple par répartition en fréquence)	04
1.3.3 CDMA (Accès multiple par division de code)	04
1.3.4 OFDMA (Accès multiple à la division de fréquence orthogonale)	05
1.3.5 SC-FDMA (accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique)	05
1.4 Accès multiple non orthogonal (NOMA)	06
1.4.1 principe Général	06
1.4.2 Domaine de puissance NOMA (PD-NOMA)	07
1.4.2.1 PD-NOMA (Downlink)	07
1.4.2.2 PD-NOMA (Uplink)	08
1.4.3 Domaine de code NOMA (CD-NOMA)	08
1.4.3.1 Épandage à faible densité CDMA	08
1.4.3.2 Épandage à faible densité OFDM	09
1.4.3.3 Accès multiple à code clairsemé	09
1.4.3.4 Accès partagé multi-utilisateurs (MUSA)	09

1.4.3.5 Accès multiple par division entrelacée	09
1.4.4 Technologies clés de NOMA	10
1.4.4.1 Codage de superposition (SC)	10
1.4.4.2 annulation d'interférences successives (SIC)	10
1.4.5 Applications	11
1.5 Avantages et Inconvénients de NOMA	11
1.5.1 Avantages	11
1.5.2 Inconvénients	12
1.6 Conclusion	13

Chapitre 2: Système MIMO

2.1 Introduction	15
2.2 Le Principe de Diversité	15
2.3 Le système SISO	16
2.3.1 Le modèle de SISO	16
2.3.2 La capacité de SISO	16
2.4 Le système MIMO	17
2.4.1 Le modèle de MIMO	17
2.4.2 La capacité de MIMO	18
2.5 Le système SIMO	19
2.5.1 Le modèle de SIMO	19
2.5.2 La capacité de SIMO	19
2.5.3 Les techniques de combinaisons de signaux	20
2.5.3.1 Combinaison par sélection (SC)	21
2.5.3.2 Combinaison par commutation	21
2.5.3.3 Combinaison par gain égal (EGC)	22
2.5.3.4 Combinaison par rapport maximal (MRC)	23

2.6 Le système MISO	23
2.6.1 Le modèle de MISO	23
2.6.2 La capacité de MISO	24
2.7 La technique MIMO SVD	24
2.8 Les récepteurs MIMO linéaires	25
2.8.1 Récepteur linéaire (ZF)	25
2.8.2 Récepteur linéaire MMSE	25
2.9 Conclusion	27

Chapitre 3: Simulation du système NOMA MIMO

3.1. Introduction	29
3.2. Modèle du système MIMO (2x1)	29
3.3. Modèle du signal	30
3.3.1. Signal transmis SC (Superposition Coding).....	30
3.3.2. Signal reçu dans les utilisateurs	30
3.3.3. Décodage à l'utilisateur 1	30
3.3.4. Décodage à l'utilisateur 2	31
3.4. Le système OMA MIMO	32
3.5. Résultats et simulation	33
3.5.1. La somme des débits réalisables	34
3.5.2. Probabilités de panne	36
3.5.2.1. NOMA MIMO	36
3.5.2.2. OMA MIMO	36
3.6. Conclusion	38
Conclusion Générale	39
Bibliographie	40

Liste des figures

Figure 1.1: TDMA ,FDMA et CDMA	04
Figure 1.2: Allocation et modulation des ressources OFDMA	05
Figure 1.3: Allocation et modulation des ressources SC-FDMA	06
Figure 1.4: OFDMA et SC-FDMA	06
Figure 1.5: Solution NOMA possible	07
Figure 1.6: NOMA de liaison descendante du domaine de puissance utilisateur	07
Figure 1.7: NOMA de liaison montante du domaine de puissance utilisateur	08
Figure 1.8: Un exemple de codage SC (a) de la constellation de signaux de la constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) de la constellation de l'utilisateur 2 (c) du signal superposé	10
Figure 2.1: Le Principe de la diversité	15
Figure 2.2: Le système SISO	16
Figure 2.3: Le système MIMO	17
Figure 2.4: Le système SIMO	19
Figure 2.5: Les différentes techniques de combinaison	20
Figure 2.6: Combinaison par sélection (SC)	21
Figure 2.7: Combinaison par commutation	22
Figure 2.8: Combinaison par gain égal (EGC)	22
Figure 2.9: Combinaison par rapport maximal (MRC)	23
Figure 2.10: Le système MISO	24
Figure 3.1: Modèle d'un système NOMA MIMO (2x1)	29
Figure 3.2: La capacité globale de NOMA MIMO et OMA MIMO	34
Figure 3.3: La capacité de chaque utilisateur	35
Figure 3.4: Probabilité de panne pour chaque utilisateur	37

Liste des tableaux

Table 3.1: Paramètres de simulation	34
--	----

Liste des abréviations

5G	Cinquième Génération.
AWGN	Additive White Gaussian Noise.
BER	Bit Error Rate.
BS	Base Station.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CD-NOMA	Code Domain-NOMA.
CSI	Channel State Information.
EGC	Equal Gain Combining.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
IoT	Internet of Things.
IDMA	Interleave-division multiple access.
LDS-CDMA	Low-density spreading code division multiple access.
LDS-OFDM	Low-density spreading aided orthogonal frequency division multiplexing.
LTE	Long Term Evolution.
MIMO	Multiple Input Multiple Output.
MISO	Multiple Input Single Output.
MMSE	Minimum Mean Squared Error.
MRC	Maximum Ratio Combiner.
MU-MIMO	Multi user-MIMO.
MUSA	Multi-User Shared Access.
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.
OMA	Orthogonal Multiple Access.
PD-NOMA	Power Domain-NOMA.

RF	Radio Frequency.
RSB	Rapport signal sur bruit.
SC	Superposition Coding.
SC-FDMA	Single-carrier FDMA.
SIC	Successive Interference Cancellation.
SIMO	Single Input Multiple Outputs.
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio.
SISO	Single Input Single Output.
SNR	Signal-Noise Ratio.
SoDeMA	Software Defined Multiple Access.
SVD	Singular Value Decomposition.
TDMA	Time Division Multiple Access.
Wi-Fi	Wireless Fidelity.
ZF	Zéro Forcing.

Introduction générale

Le déploiement des réseaux cellulaires mobiles de cinquième génération (5G) et au delà est inextricablement lié à la fourniture de débits de données élevés aux stations mobiles (MS) afin de prendre en charge la demande de bande passante et les applications à latence zéro. À cette fin, diverses nouvelles technologies ont été introduites au cours des dernières années : la transmission à ondes mm, les systèmes MIMO (multiple-input multiple-output), ainsi que l'accès multiple non orthogonal (NOMA). L'idée clé de NOMA est d'exploiter le domaine de la puissance pour un accès multiple, ce qui signifie que plusieurs utilisateurs peuvent être servis simultanément en même temps, fréquence et code d'étalement. Au lieu d'utiliser des stratégies d'allocation de puissance classiques, NOMA alloue plus de puissance aux utilisateurs avec des conditions de canal plus mauvaises, dans le but de faciliter un compromis équilibré entre le débit du système et l'équité de l'utilisateur.

L'application du multiple-input multiple-output (MIMO) technologies à NOMA est importante puisque l'utilisation de MIMO offre des degrés de liberté supplémentaires pour de nouvelles performances.

Le but de ce travail est d'étudier et d'évaluer les performances du système NOMA MIMO en termes de capacité et probabilité de panne. Le système OMA MIMO est aussi utilisé pour faire la comparaison.

Ce manuscrit est divisé en trois chapitres:

- Le premier chapitre donne un aperçu de la technologie NOMA et les exigences importantes requises pour cette technologie.
- Le deuxième chapitre se concentre sur l'étude des technologies d'accès MIMO.
- Le dernier chapitre présente la simulation et l'analyse des résultats du système MIMO-NOMA.

Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre 1

Technique d'accès multiple NOMA

Chapitre 1

Technique d'accès multiple NOMA

1.1 Introduction

Dans un système de communication sans fil, fournir un service de communication entre plusieurs émetteurs et récepteurs simultanément sur un seul canal en utilisant des techniques de canalisation basées sur le temps, la fréquence ou le code est connu sous le nom d'accès multiple. L'accès multiple non orthogonal (NOMA) a récemment été considéré comme une technique clé pour la 5G et au-delà. Dans ce chapitre, nous présentons les techniques classiques orthogonales TDMA, FDMA, CDMA et OFDMA ainsi que la nouvelle technique non orthogonale NOMA dans la voie montante et descendante. Nous présentons également les opérations clés SC et SIC ainsi que les applications, les avantages et les inconvénients du NOMA.

1.2 Techniques d'accès multiples

L'accès multiple est une technologie qui permet à plusieurs utilisateurs de partager efficacement un spectre attribué. Pour améliorer la capacité globale, plusieurs utilisateurs sont autorisés à utiliser un canal commun.

Typiquement, les transmissions utilisateur sont coordonnées et synchronisées par les stations de base, de sorte que les signaux reçus sont reçus de manière cohérente. MAS peut être classé en deux accès multiples orthogonaux (OMA) et (NOMA) [1][2].

1.3 Orthogonal Multiple Access (OMA) Schémas

En OMA, plusieurs utilisateurs transmettent sur des canaux orthogonaux de sorte qu'il n'y ait aucune interférence dans la forme d'onde du signal des utilisateurs. Ainsi, le récepteur détecte le signal pour chaque utilisateur sans interférence d'autres utilisateurs avec des performances d'erreur similaires à celles d'un seul utilisateur. La ressource système totale / largeur de bande W en temps et en fréquence est divisée en M canaux de fréquence entre les M utilisateurs pour assurer l'orthogonalité. Des exemples de techniques OMA comprennent TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA [3].

1.3.1 TDMA (accès multiple par répartition dans le temps)

TDMA est une technique numérique qui divise un canal ou une bande unique en tranches de temps. Chaque tranche de temps est utilisée pour transmettre un octet ou un autre segment numérique de chaque signal dans un format de données série séquentiel. Cette technique fonctionne bien avec les signaux de données vocales lents, mais elle est également utile pour la vidéo compressée et d'autres données à haut débit [4].

1.3.2 FDMA (accès multiple par répartition en fréquence)

FDMA, est une technique d'accès multiple par répartition en fréquence. C'est une technologie par laquelle la bande passante totale disponible pour le système est divisée en fréquences. Cette division est faite entre des fréquences non superposées qui sont ensuite assignées à chaque paire communicante (2 téléphones) FDMA est principalement utilisé pour la transmission analogique [5].

1.3.3 CDMA (Accès multiple par division de code)

En CDMA, toutes les stations peuvent transmettre des données simultanément. Il permet à chaque station de transmettre des données sur toute la fréquence à tout moment. Les transmissions simultanées multiples sont séparées par une séquence de codes unique. Chaque utilisateur se voit attribuer une séquence de codes unique [6].

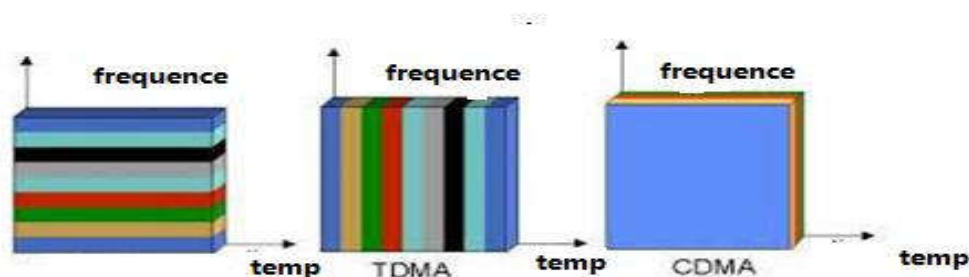


Figure 1.1: TDMA ,FDMA et CDMA [3].

1.3.4 OFDMA (Accès multiple à la division de fréquence orthogonale)

OFDMA est la variante multi-utilisateurs du schéma OFDM où l'accès multiple est obtenu en attribuant des sous-ensembles de ressources temps-fréquence à différents utilisateurs, permettant la transmission simultanée de données à partir de plusieurs utilisateurs. Dans l'OFDMA, les ressources radio sont des régions 2D dans le temps (un nombre entier de symboles OFDM) et la fréquence (un certain nombre de sous-porteuses contiguës ou non contiguës). Semblable à l'OFDM, l'OFDMA emploie plusieurs sous-porteuses étroitement espacées qui sont divisées en groupes de sous-porteuses où chaque groupe est appelé un bloc de ressources [7].

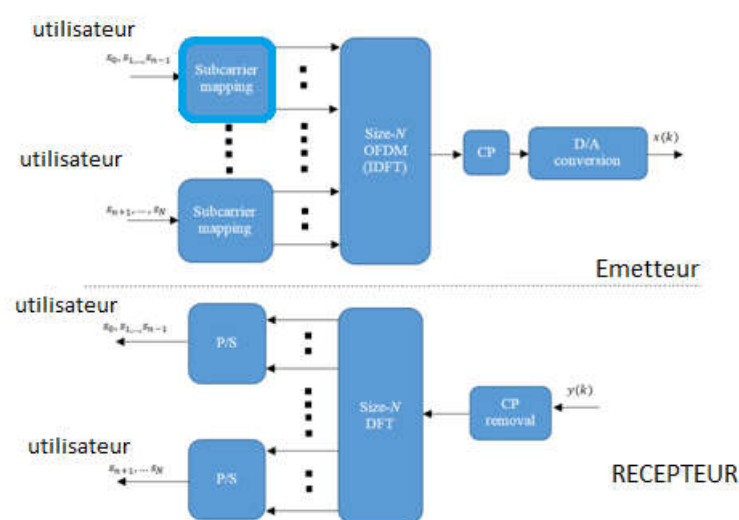


Figure 1.2: Allocation et modulation des ressources OFDMA [8].

1.3.5 SC-FDMA (accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique)

L'accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique (SC-FDMA) est une nouvelle méthode de transmission radio à l'étude pour son déploiement dans les futurs systèmes cellulaires. SC-FDMA a attiré une grande attention de l'industrie des communications en tant qu'alternative intéressante à l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA) [9].

Une technique de multiplexage similaire à l'OFDMA mais où les sous-porteuses attribuées à chaque utilisateur doivent être contiguës, ce qui réduit la puissance de traitement et les besoins en batterie pour les appareils mobiles [10].

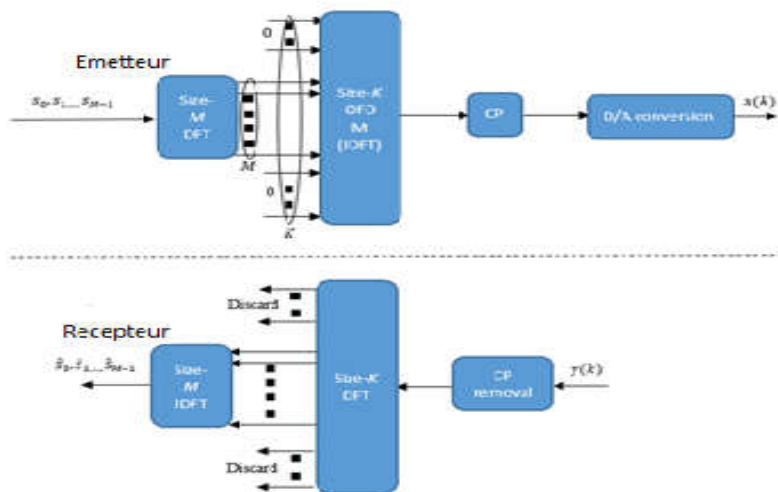


Figure 1.3: Allocation et modulation des ressources SC-FDMA [8].

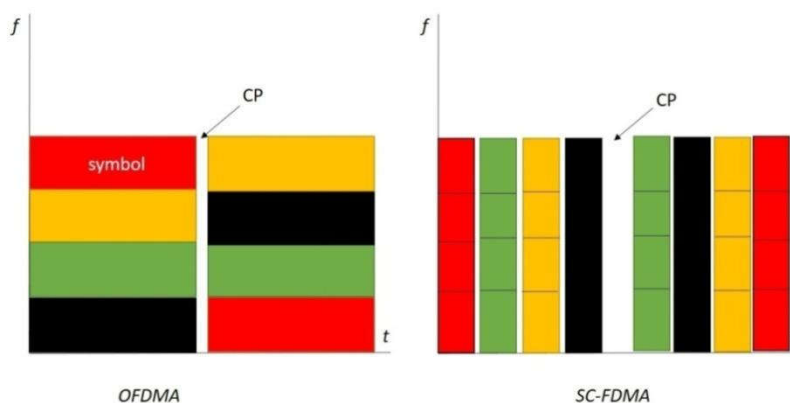


Figure 1.4: OFDMA et SC-FDMA [11].

1.4 Accès multiple non orthogonal (NOMA)

1.4.1 principe Général

Dans NOMA, chaque utilisateur opère dans la même bande et en même temps où il se distingue par ses niveaux de puissance. NOMA utilise le codage par superposition à l'émetteur de sorte que le récepteur d'annulation d'interférence (SIC) successif puisse séparer les utilisateurs à la fois dans la liaison montante et dans les canaux de liaison descendante [12].

Plus d'utilisateurs peuvent être pris en charge que le nombre d'ouvertures de ressources verticales et c'est la principale caractéristique de NOMA.

La famille des schémas NOMA peut être essentiellement divisée en deux catégories: NOMA de domaine de puissance et NOMA de domaine de code [13].

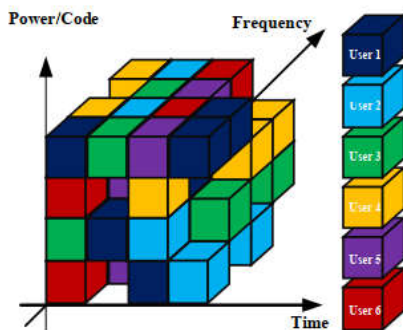


Figure 1.5: Solution NOMA possible [14].

1.4.2 Domaine de puissance NOMA (PD-NOMA)

permet à plusieurs utilisateurs de partager le même canal simultanément par multiplexage du domaine de puissance au Tx, et SIC peut être appliqué aux utilisateurs Rx de l'utilisateur final pour décoder les signaux reçus qui souffrent d'interférences dans le même canal. Il exploite intelligemment les différences de niveaux de puissance reçus pour obtenir une efficacité spectrale plus élevée que le schéma OMA. Les normes de l'industrie ont été largement discutées pour un déploiement futur [15].

1.4.2.1 PD-NOMA (Downlink)

La figure 1.6 présente un système NOMA simple composé d'un seul BS et de deux utilisateurs, chacun équipé avec une seule antenne. Supposons que x_1 et x_2 sont les signaux à transmettre de la BS à utilisateurs 1 et 2 [16].

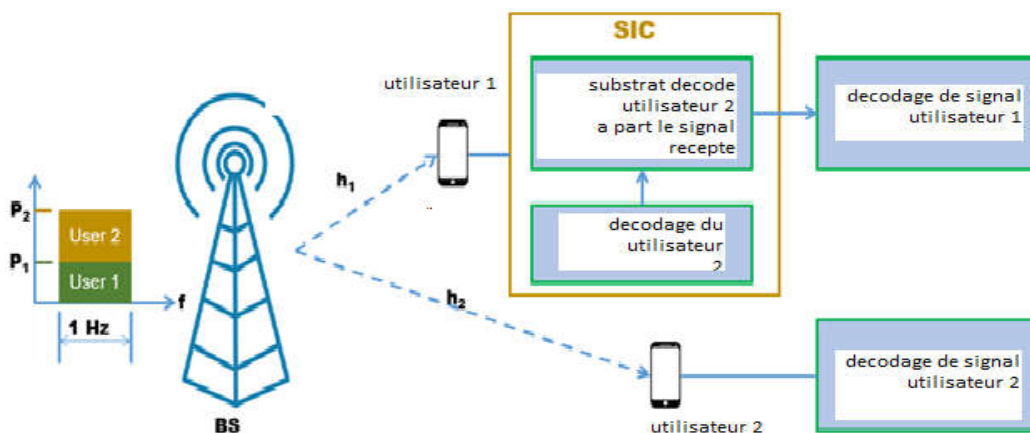


Figure 1.6: NOMA de liaison descendante du domaine de puissance utilisateur [16].

1.4.2.2 PD-NOMA (Uplink)

La figure 1.7 présente un schéma NOMA de liaison montante, dans lequel les utilisateurs 1 et 2 transmettent simultanément leurs signaux x_1 et x_2 à la BS.

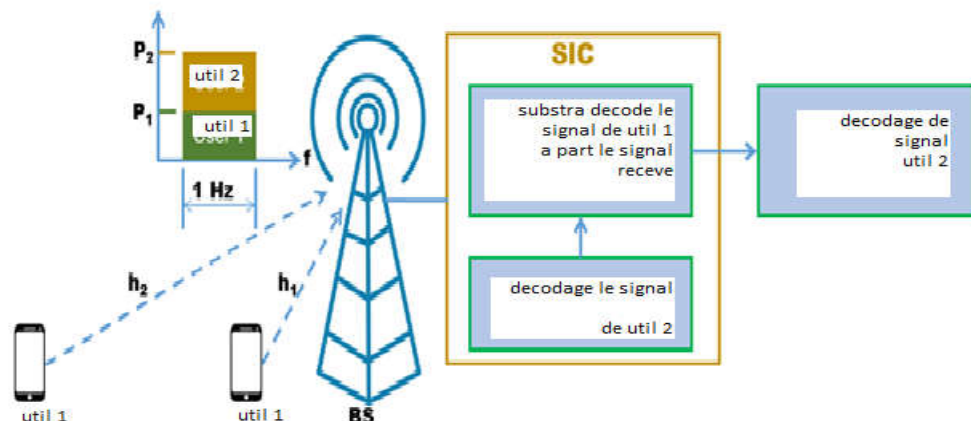


Figure 1.7: NOMA de liaison montante du domaine de puissance utilisateur [16].

1.4.3 Domaine de code NOMA (CD-NOMA)

Contrairement au domaine de puissance NOMA, le domaine de code NOMA réalise un multiplexage dans le domaine de code. La notion de ce dernier est motivée par les systèmes CDMA classiques, dans lesquels plusieurs utilisateurs partagent les mêmes ressources temps-fréquence, tout en utilisant des séquences d'étalement uniques spécifiques à l'utilisateur. Cependant, par rapport au CDMA, la caractéristique unique du domaine de code NOMA est que les séquences d'étalement sont limitées à des séquences clairsemées (appelées alternativement séquences à faible densité) ou des séquences à faible corrélation croisée non orthogonales [16].

1.4.3.1 Épandage à faible densité CDMA

Dans les systèmes CDMA conventionnels, les séquences d'étalement sont constituées de nombreux éléments différents de zéro. Ainsi, si les codes d'étalement ne sont pas orthogonaux, un utilisateur verra des interférences provenant de nombreux autres utilisateurs dans une seule puce. Le système orthogonal de codes a un nombre fixe d'utilisateurs qu'il prend en charge. LDS-CDMA utilise des séquences d'étalement clairsemées (faible densité) où le nombre d'éléments

non nuls dans la séquence d'étalement est bien inférieur à la longueur de la séquence. Ainsi, chaque puce aura une quantité réduite d'interférence de séquence croisée [17].

1.4.3.2 Épandage à faible densité OFDM

Le multiplexage orthogonal par répartition en fréquence LDS (LDS-OFDM) peut être considéré comme une version combinée de LDS-CDMA et OFDM, dans laquelle les puces sont des sous-porteuses de l'OFDM afin de lutter contre les évanouissements par trajets multiples. Dans LDS-OFDM, les symboles transmis sont d'abord mappés sur certaines séquences LDS, puis transmis sur différentes sous-porteuses OFDM. Le nombre de symboles peut être supérieur au nombre de sous-porteuses, c'est-à-dire qu'une surcharge est autorisée pour améliorer l'efficacité spectrale. MPA dans LDS-CDMA peut également être utilisé dans un récepteur LDS-OFDM [18].

1.4.3.3 Accès multiple à code clairsemé

Sparse Code Multiple Access mappe directement différents flux de données entrants à transmettre à différents mots de code clairsemés. Chaque utilisateur a un livre de codes prédéfini, et les zéros de ce livre de codes seront dans les mêmes positions [17].

1.4.3.4 Accès partagé multi-utilisateurs (MUSA)

L'accès partagé multi-utilisateurs (MUSA) est un schéma de diffusion NOMA dans lequel les symboles de données modulés de chaque utilisateur sont répartis par une séquence spécialement conçue qui facilite la mise en œuvre robuste de SIC. Les utilisateurs choisissent une séquence aléatoire dans un pool de plusieurs séquences d'épandage. En outre, différentes séquences d'étalement peuvent également être utilisées pour différents symboles. Cela conduit à une amélioration des performances grâce à la moyenne des interférences. Au niveau du récepteur, le SIC au niveau du mot de code est utilisé pour séparer les données des différents utilisateurs [8].

1.4.3.5 Accès multiple par division entrelacée

Un autre type de NOMA est l>IDMA. Le principe de base de l>IDMA est qu'il entrelace les puces après l'étalement des symboles, dans des conditions de surcharge élevées avec des contraintes de BER données, IDMA réalise un gain SNR sur les systèmes CDMA conventionnels [3].

1.4.4 Technologies clés de NOMA

Là encore, les principes de base des techniques NOMA reposent sur l'utilisation du codage par superposition (SC) au niveau de l'émetteur et des techniques d'annulation d'interférence successive (SIC) au niveau du récepteur [19].

1.4.4.1 Codage de superposition (SC)

Le concept fondamental de SC est qu'il est capable de coder un message pour un utilisateur associé à de mauvaises conditions de canal à un débit inférieur, puis de superposer le signal d'un utilisateur ayant de meilleures conditions de canal sur celui-ci. Inspirés par les bases solides posées du point de vue de la théorie de l'information, les chercheurs ont été motivés à appliquer la SC à divers canaux, tels que les canaux d'interférence, les canaux de relais, les canaux MA [19].

La figure 1.8 montre un exemple de codage SC.

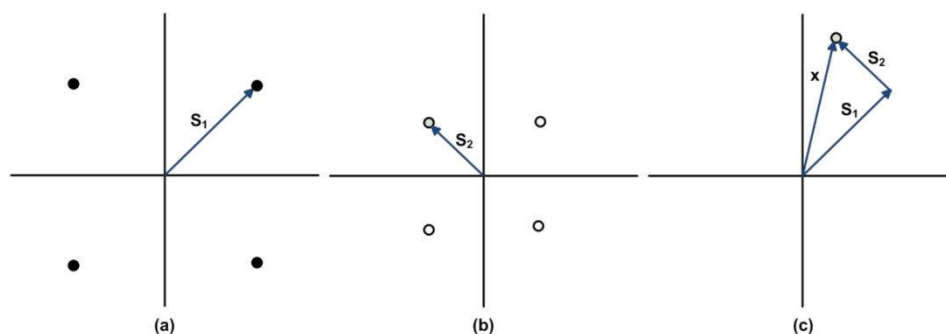


Figure 1.8: Un exemple de codage SC (a) de la constellation de signaux de la constellation de signaux de l'utilisateur 1 (b) de la constellation de l'utilisateur 2 (c) du signal superposé [20].

1.4.4.2 annulation d'interférences successives (SIC)

Il a été largement exploité que la capacité du réseau peut être considérablement améliorée à l'aide d'une gestion efficace des interférences, de sorte que le SIC est considéré comme une technique IC prometteuse dans les réseaux sans fil. En invoquant la procédure suivante, il permet à l'utilisateur ayant le signal le plus fort d'être détecté en premier, qui a donc le signal le moins pollué par les interférences. Ensuite, l'utilisateur le plus fort recode et remodule son signal, qui est ensuite soustrait du signal composite [19].

1.4.5 Applications

- **Communication par lumière visible:** des gains de performances similaires à ceux observés dans le cas RF peuvent être attendus si NOMA est implémenté dans VLC. Comme le canal ne change généralement pas la plupart du temps, le décodage devient plus simple.
- **MIMO-NOMA:** la combinaison de MU-MIMO qui permet plusieurs faisceaux et NOMA dans un seul faisceau peut conduire à une plus grande capacité du système.
- **Internet des objets:** le scénario de l'IoT est une connectivité massive. L'exploitation des ressources non orthogonales comme moyen d'améliorer la connectivité fait l'objet de recherches.
- **SoDeMA:** l'accès multiple défini par logiciel est un domaine de recherche actif où le meilleur schéma d'accès multiple est choisi en fonction des conditions du système. Par exemple, si nous n'avons qu'un petit nombre d'utilisateurs et qu'ils n'ont pas une grande variance du SNR, OMA serait préférable à NOMA. De même, différents scénarios nécessitent différents schémas d'accès multiples [17].

1.5 Avantages et Inconvénients de NOMA

1.5.1 Avantages

- **Efficacité spectrale élevée:** comme il peut desservir plusieurs utilisateurs en utilisant le même bloc de ressources, NOMA est très efficace en termes de spectre et, par conséquent, améliore le débit du système [16].
- **Capacité améliorée:** comme le multiplexage se fait sur le domaine de puissance, les utilisateurs individuels bénéficient d'une plus grande bande passante et donc d'une capacité plus élevée. La perte de capacité due à l'allocation fractionnée de la puissance d'émission n'a pas beaucoup d'impact sur le système car la bande passante joue un rôle beaucoup plus crucial dans la capacité. En fait, NOMA atteint la capacité liée à la fois en liaison montante et en liaison descendante.
- **Programmation fréquente:** les UE sont programmées plus souvent car la transmission est effectuée vers deux UE en même temps. Cela réduit la latence.
- **Équité améliorée:** les utilisateurs de périphérie de cellule obtiennent une part plus équitable du débit car plus de puissance leur est allouée [17].

1.5.2 Inconvénients

- La BS a besoin de connaître les informations parfaites sur l'état du canal (CSI) pour organiser l'ordre de décodage SIC, ce qui augmente le surdébit de rétroaction CSI.
- Le processus SIC introduit une complexité de calcul et un retard plus élevés du côté récepteur, en particulier pour les systèmes multi-porteuses et multi-utilisateurs.
- Les utilisateurs forts doivent connaître l'allocation de puissance des utilisateurs les plus faibles afin d'exécuter le SIC, ce qui augmente également la surcharge de signalisation du système.
- Allouer plus de puissance aux utilisateurs faibles, qui sont généralement à la périphérie de la cellule, introduira plus d'interférences intercellulaires dans l'ensemble du système [3].

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les techniques d'accès multiples OMA et NOMA. Nous avons vu également les avantages de NOMA par rapport OMA. Par conséquent, la combinaison de NOMA avec les techniques multi antennaires MIMO est très importante pour satisfaire les exigences des utilisateurs dans les nouveaux systèmes de télécommunications. L'étude des systèmes MIMO fait l'objectif du prochain chapitre

Chapitre 2

Le système MIMO

Chapitre 2

Le système MIMO

2.1 Introduction

Avec le développement révolutionnaire dans l'utilisation des communications sans fil et l'expansion dans ce domaine, Les scientifiques et les chercheurs se concentrent sur le développement de nouvelles technologies sans fils plus efficaces. L'une des plus importantes de ces technologies est la technologie MIMO (Multiple input Multiple Output). La technologie offre un bon taux de transmission et une bonne qualité grâce la diversité. Dans ce chapitre, nous explorons la technologie MIMO et ses dérivées ainsi que ses avantages et ses inconvénients.

2.2 Le Principe de diversité

Le principe de la diversité est qu'il doit y avoir plusieurs versions du signal envoyé et reçu à travers plusieurs canaux distincts. Nous voyons à la figure 2.1, un cas simple où le récepteur a deux antennes à deux signaux avec du pain indépendant et un signal intégré à la sortie unique. Lorsque les deux signaux sont indépendants, la probabilité qu'ils disparaissent simultanément est très faible. Notez que lorsque vous fusionnez les deux signaux, le rapport signal-bruit moyen (SNR) est supérieur à celui reçu par chaque antenne [21].

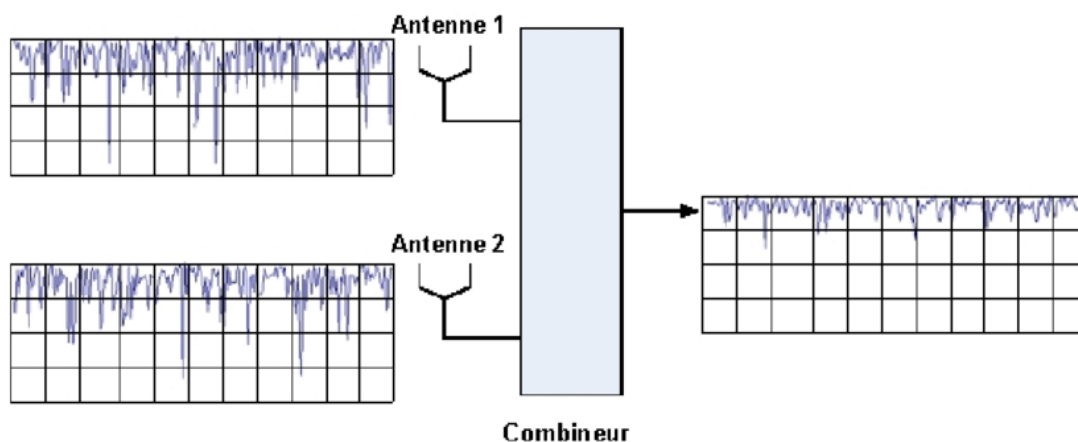


Figure 2.1: Le Principe de la diversité [21].

2.3 Le système SISO

SISO (entrée unique, sortie unique) désigne un système de communication sans fil dans lequel une antenne est utilisée à la source (émetteur) et une antenne est utilisée à la destination (récepteur) [22].

2.3.1 Le modèle de SISO

SISO est la technologie d'antenne la plus simple. Dans certains environnements, les systèmes SISO sont vulnérables aux problèmes causés par des effets multi-trajets. Quand un champ électromagnétique est rencontré avec des obstructions telles que des collines, des canyons, des bâtiments, et des fils de services publics, les fronts d'onde sont dispersés, et ainsi ils prennent beaucoup de chemins pour atteindre la destination. L'arrivée tardive de parties éparses du signal cause des problèmes comme la décoloration, la découpe et la réception intermittente. Dans un système de communication numérique, il peut entraîner une réduction de la vitesse des données et une augmentation du nombre d'erreurs [22].

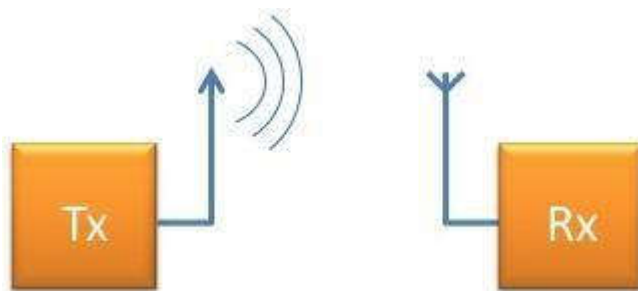


Figure 2.2: Le système SISO [23].

2.3.2 La capacité de SISO

La capacité d'un canal SISO est donnée par [23]:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \text{ bps} \quad (2.1)$$

En normalisant la capacité par la bande utile W , on obtient:

$$C = \log_2 (1 + \rho) \text{ bps/Hz} \quad (2.2)$$

P : La puissance du signal utile (Watt) ;

N_0 : La densité spectrale de puissance du bruit (W/Hz) ;

W : La bande passante donnée (Hz) ;

ρ : Le rapport signal sur bruit.

2.4 Le système MIMO

2.4.1 Le modèle de MIMO

Le système MIMO est un système à plusieurs antennes à l'émission et à la réception. Ces systèmes peuvent se présenter comme suit:

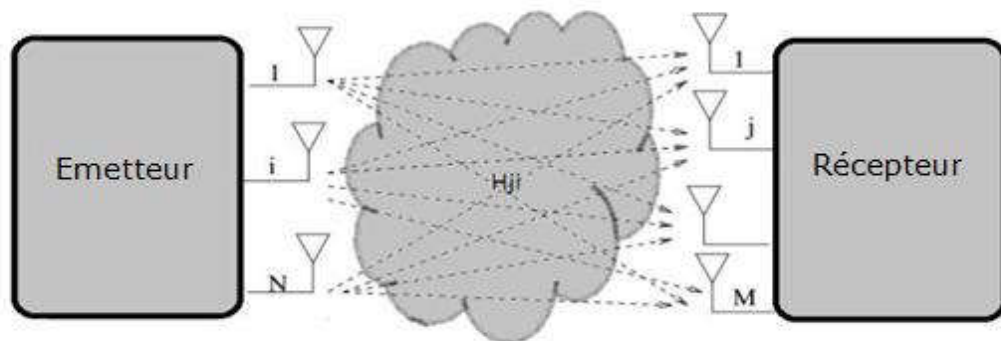


Figure 2.3: Le système MIMO [24].

Pour connaître le système MIMO, une caractéristique importante est la matrice H du canal créée par l'échange de signaux via des antennes de transmission N_t et des antennes de réception N_r .

La relation entre les éléments du système est donnée comme suit:

$$y = Hx + n \quad (2.3)$$

y et x représentent respectivement les vecteurs émis entre les antennes d'émission et de réception, n est le bruit gaussien additif et H est la matrice du canal ($N_t \times N_r$). La matrice H peut s'écrire de la façon suivante:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & \dots & \dots & h_{M1} \\ h_{12} & h_{22} & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ h_{1M} & h_{2M} & \dots & \dots & h_{MM} \end{bmatrix}$$

Où les h_{ji} sont les coefficients du canal gaussien complexe permettant de moduler le gain dans un système à évanouissement entre la $i^{\text{ème}}$ antenne émettrice et la $j^{\text{ème}}$ antenne réceptrice.

L'estimation de la matrice de canal est importante, sa connaissance permet d'optimiser de manière significative la reconstitution du signal [24].

2.4.2 La capacité de MIMO

La capacité des MIMO est un sujet important, la puissance totale moyenne émise reste constante lorsque le nombre d'antennes dans l'émetteur varie, alors la puissance est répartie entre les antennes émettrices N_t pour rester la somme égale à P , donc la distribution uniforme de la puissance est la solution optimale en termes de La capacitance (chaque antenne émet une puissance P/N_t).

Afin de calculer la capacité, nous dépendrons des deux paramètres principaux:

- Le modèle du canal MIMO
- La distribution des puissances entre les antennes émettrices [25].

$$C = \log_2 \left(\det \left[I_{N_r} + \frac{\rho}{N_t} \cdot H \cdot H^* \right] \right) \text{ bps/Hz} \quad (2.4)$$

I_{N_r} : La matrice unité.

H : La matrice du canal MIMO de taille $N_t \times N_r$

2.5 Le système SIMO

2.5.1 Le modèle de SIMO

La configuration des canaux SIMO (Single Input Multiple Output) est caractérisée par une antenne d'émission et plusieurs antennes de réception (Figure 2.3). La configuration SIMO est utilisée pour fournir une diversité de réception, où les mêmes informations sont reçues sur des canaux d'évanouissement indépendants pour lutter contre les évanouissements. Lorsque plusieurs copies des mêmes données sont reçues sur des canaux à évanouissement indépendants, la quantité d'évanouissement subie par chaque copie des données sera différente. Cela garantit qu'au moins une copie subira moins de décoloration que le reste des copies. Ainsi, les chances de recevoir correctement les données transmises augmentent. En effet, cela améliore la fiabilité de l'ensemble du système [26].

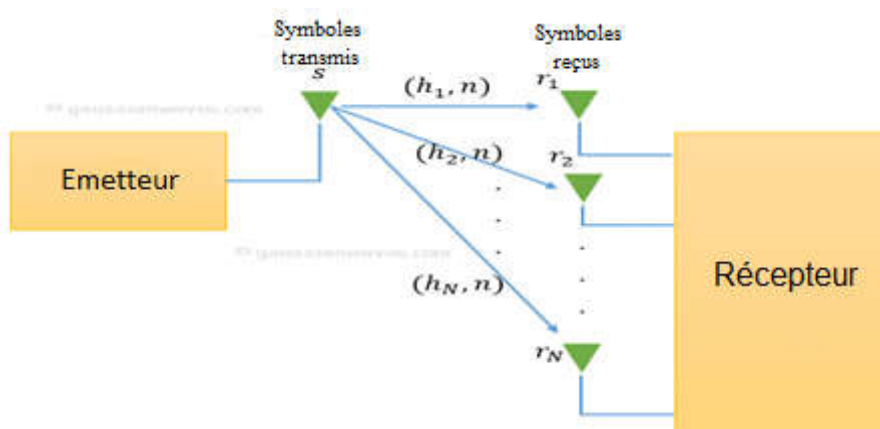


Figure 2.4: Le système SIMO [26].

2.5.2 La capacité de SIMO

La relation de la capacité du système SIMO est donnée par [27]:

$$C = W \log_2 \left(1 + N_r^2 \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (2.5)$$

N_r : Le nombre d'antenne réceptrice.

En normalisant la capacité en par la bande utile W , nous obtenons:

$$C = \log_2 (1 + N_r^2 \rho) \quad (2.6)$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit.

2.5.3 Les techniques de combinaisons de signaux

Pour obtenir la meilleure représentation du signal transmis, il est nécessaire d'utiliser la technique de sommation pour collecter des répliques du même signal, donc lorsque le récepteur reçoit ici plusieurs répliques du signal, la technique de recombinaison est utilisée pour atteindre la meilleure représentation du signal d'origine, ce qui contribue à réduire les évanouissements [28].

Il y a quatre méthodes de combinaison en diversité:

- La combinaison par sélection de signal.
- La combinaison par commutation de signal.
- La combinaison de signaux par gain égal (EGC: Equal Gain Combining).
- La combinaison de signaux par rapport maximal (MRC: Maximum Ratio Combining).

Ces méthodes de combinaison peuvent être regroupées en deux catégories [29]:

- La diversité par sélection (Sélection et Switch).
- La diversité par combinaison (EGC et MRC).

Le digramme de la Figure 2.4 illustre ces quatre types de combinaison. Grâce à ces différentes techniques, nous pouvons combiner les signaux pour obtenir un signal sans évanouissement.

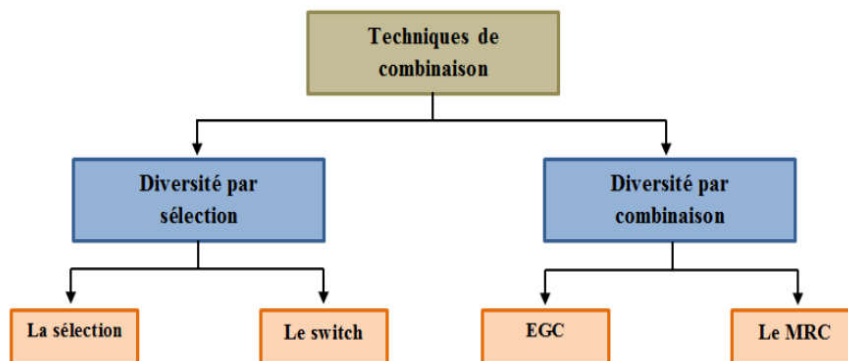


Figure 2.5: Les différentes techniques de combinaison.

2.5.3.1 Combinaison par sélection (SC)

La combinaison par sélection est similaire à celle de la technique par commutation, excepté que les N récepteurs radios sont requis [30]. Le principe de la technique de combinaison par sélection est basé sur le choix du signal ayant la puissance maximale ou ayant le meilleur SNR. Donc, la branche avec le SNR de sortie le plus élevé, à chaque instant, est sélectionnée comme signal de sortie actif (Comme illustré à la Figure 2.5).

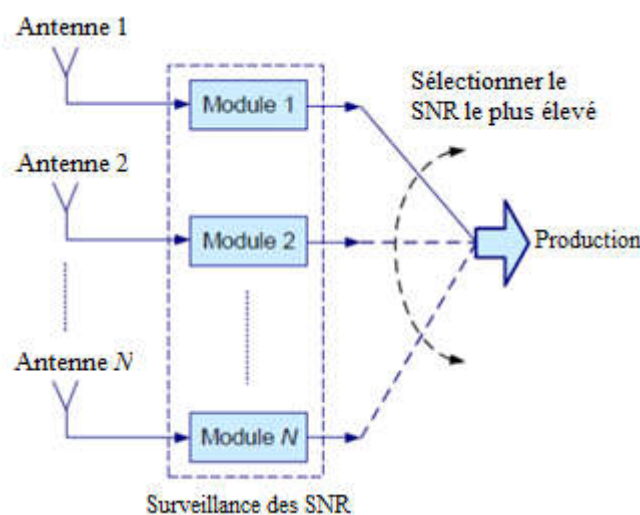


Figure 2.6: Combinaison par sélection (SC).

2.5.3.2 Combinaison par commutation

La technologie de combinaison de commutateurs ne nécessite qu'un seul récepteur radio entre les branches, comme le montre la figure 2.6, tandis que d'autres technologies reposent sur des récepteurs radio pour contrôler les signaux instantanés. à chaque instant,

Mais le passage à une autre branche avec un signal supérieur au seuil fixe est effectué une fois que le signal est en dessous du minimum, et également lorsque le rapport signal sur bruit (SNR) dans la branche actuelle est inférieur à un seuil prédéfini, le récepteur est commuté sur une autre branche. Ce seuil dépend du domaine d'utilisation de la diversité et peut être fixé par les fabricants. Due à la taille limitée du terminal mobile, la technique de combinaison par commutation est la technique qui est actuellement implémentée dans la plupart des terminaux utilisant la diversité d'antennes [31].

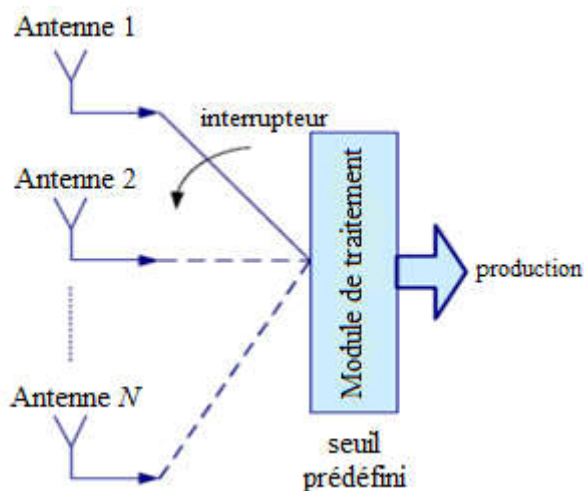


Figure 2.7: Combinaison par commutation.

2.5.3.3 Combinaison par gain égal (EGC)

Étant donné que les techniques de combinaison par commutation et par sélection utilisent uniquement le signal provenant de l'une des branches comme signal de sortie à un instant donné, l'énergie du signal dans les autres branches est perdue. Les signaux de toutes les branches peuvent cependant être combinés. Si cela est fait directement en utilisant les signaux complexes, leurs composantes réelles et imaginaires aléatoires se combineront de manière incohérente. Pour obtenir une diversité efficace et la plus grande puissance de signal de sortie disponible, les signaux doivent être mis en phase afin qu'ils soient cohérents. Chaque signal doit donc être multiplié par un co-phaseur pour que les signaux ne soient plus déphasés comme illustré à la Figure 2.7.

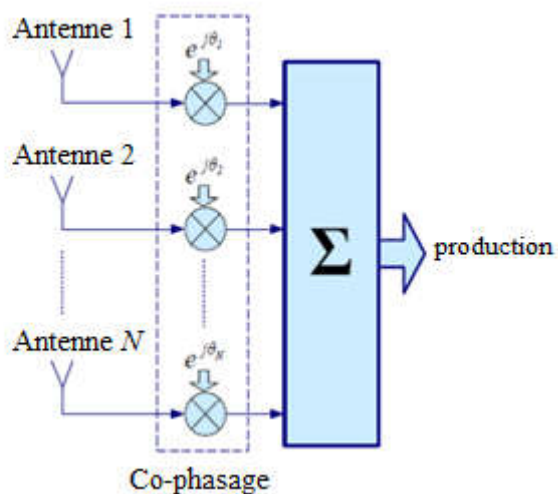


Figure 2.8: Combinaison par gain égal (EGC).

2.5.3.4 Combinaison par rapport maximal (MRC)

L'inconvénient majeur de la technique EGC est que si l'une des branches a un signal très faible, cela peut entraîner une réduction du signal combiné à la sortie. Pour empêcher ce phénomène, dans la technique MRC, un coefficient de pondération est appliqué sur chaque branche avant la combinaison des signaux (Figure 2.7). Ainsi pour maximiser le signal à la sortie du combineur, une branche avec un SNR élevé, donnera un coefficient de pondération élevé ce qui permettra de choisir les signaux à combiner [21].

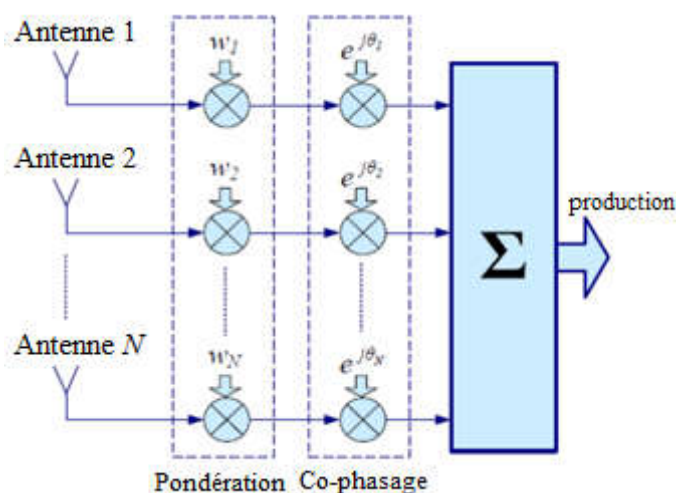


Figure 2.9: Combinaison par rapport maximal (MRC).

2.6 Le système MISO

2.6.1 Le modèle MISO

C'est une technique de diversité spatiale en émission. C'est-à-dire plusieurs antennes émettent des signaux qui sont interceptés par une seule antenne en réception. Dans ce mode de transmission, une superposition du signal transmis simultanément par les N_t antennes émettrices est reçue. Chaque antenne émet le même symbole d'énergie E_s/N_t . C'est-à-dire que la puissance émise est divisée sur le nombre d'antenne telle que:

$$P = \sum_{i=1}^{N_t} P_i \quad (2.7)$$

Avec P_i est la puissance émise sur chaque antenne. Si cette puissance est égale sur toutes les antennes, alors on dira que $P = N_t \cdot P_i$ [32].

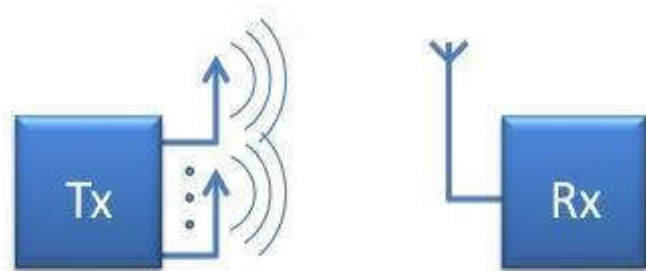


Figure 2.10: Le système MISO [23].

2.6.2 La capacité de MISO

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + N_t \frac{P_i}{N_0 W} \right) = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (2.8)$$

En normalisant la capacité par la bande utile W , nous obtenons:

$$c = \log_2 (1 + \rho) \quad (2.9)$$

L'équation (2.1) et (2.8) sont identiques, mais l'avantage de la technique MISO par rapport la technique SISO est dans le fait que dans les multi trajets; la probabilité d'évanouissement dans N_t antennes est inférieure à la probabilité d'évanouissement sur une seule antenne.

2.7 La technique MIMO SVD

Les techniques de pré-codage basées sur la SVD (Singular Value Decomposition) sont considérées comme les méthodes optimales pour optimiser les performances du système. En fait, le canal MIMO peut être constitué d'un ensemble de liaisons indépendantes et parallèles, le nombre maximal de liaisons étant égal au nombre minimal d'antennes d'émission et de réception. Avec un CSI (Channel State Information) parfait, les canaux parallèles sont établis en appliquant SVD à la matrice de canaux:

$$H_p = U_p D_p V_p^H \quad (2.10)$$

Où: $U_p \in \mathbb{C}^{M \times M}$ est utilisé par l'émetteur comme matrice de pré-codage, $V_p \in \mathbb{C}^{K \times K}$ est multiplié par le signal du récepteur comme matrice de post-codage. De cette manière, les signaux sont transmis par l'intermédiaire de faisceaux indépendants, qui sont en fait les vecteurs propres de la matrice de corrélation de canaux $H_p^H H_p$. Les charges de puissance du faisceau sont les valeurs singulières au carré D_p^2 .

L'inconvénient de la méthode SVD est la complexité informatique élevée. De plus, la matrice de post-codage doit être communiquée aux utilisateurs pour décoder le signal reçu [33].

2.8 Les récepteurs MIMO linéaires

2.8.1 Récepteur linéaire (ZF)

Le récepteur linéaire le plus simple est le récepteur basé sur le critère de forçage à zéro (ZF) qui inverse tout simplement la matrice de canal. Supposant que H est inversible, le vecteur de symboles estimés de taille $N_t \times 1$ est alors donné par la relation:

$$\hat{s} = H^{-1} y \quad (2.11)$$

Le récepteur ZF sépare ainsi parfaitement les symboles (s_i) transmis dans le même canal. Lorsque H est mal conditionnée, le récepteur ZF donne des résultats corrects pour des SNR élevés, mais pour de faibles SNR le bruit perturbe fortement les performances. En pratique, si H n'est pas carrée (si $N_t \neq N_r$) le récepteur multiplie y à gauche par la pseudo-inverse H^* de la matrice de canal pour récupérer tous les symboles. Dans ce cas, le vecteur estimé s'écrit [34]:

$$\hat{s} = H^* y = (H^* H)^{-1} H^* y \quad (2.12)$$

2.8.2 Récepteur linéaire MMSE

Ce critère minimise l'erreur moyenne quadratique due à la fois au bruit et aux interférences entre symboles, contrairement au récepteur ZF qui ne s'occupe que des interférences entre symboles. Son expression est bien connue dans la littérature:

$$\hat{s} = \left(H^* H + \frac{n_T}{\rho} I_{n_R} \right)^{-1} H^* y \quad (2.13)$$

Avec $\rho = \frac{P_0}{\sigma_v^2}$ le SNR moyen par antenne de réception.

Ce récepteur résiste mieux au bruit que le récepteur ZF, mais ne sépare pas parfaitement les sous-canaux. À haut SNR, le récepteur MMSE tend vers le récepteur ZF car σ_v^2 tend vers 0 [23].

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié le système multi antenne MIMO et ses dérivées, SIMO et MISO. Nous avons également présenté les capacités et les techniques de combinaison SIMO. En suite, les récepteurs ZF et MMSE sont aussi étudié dans ce chapitre. Par conséquent, nous avons remarqué que les systèmes MIMO présentent plusieurs avantages par rapport le système SISO et peuvent être combinés avec les techniques modernes pour satisfaire la demande exponentielle de débit et les exigences des utilisateurs. La combinaison NOMA MIMO fait l'objet de prochain chapitre où nous analyserons les performances de ce dernier.

Chapitre 3

Simulation du système NOMA MIMO

Chapitre 3

Simulation du système NOMA MIMO

3.1 Introduction

L'application des technologies MIMO à entrées multiples et sorties multiples avec NOMA est très importante car l'utilisation de MIMO offre des degrés de liberté supplémentaires pour une amélioration des performances. Dans ce chapitre, nous présentons une comparaison par simulation des performances de NOMA MIMO et OMA MIMO en termes de capacité et probabilité de panne.

3.2 Modèle du système MIMO (2x1)

Considérons un système MIMO de liaison descendante (2×1) comme illustré sur la figure 3.1. Soit d_1 et d_2 les distances de U_1 et U_2 respectivement à partir de l'émetteur MIMO. Ici, nous supposons $d_1 > d_2$. Autrement dit, U_1 est l'utilisateur faible et U_2 est l'utilisateur fort.

Nous savons que MIMO peut être utilisé soit pour le multiplexage spatial (augmentation du taux réalisable) soit pour la diversité de gain (diminution du BER). Ici, nous utilisons MIMO pour obtenir un gain de diversité. Par conséquent, les antennes d'émission 1 et 2 transmettent les mêmes informations.

Soit x_1 et x_2 les informations destinées à U_1 et U_2 . En suivant les conventions de notation de MIMO, laissez $h_{r,t}$ désigner le canal d'évanouissement de Rayleigh entre la $t^{\text{ème}}$ antenne d'émission et le $r^{\text{ème}}$ récepteur.

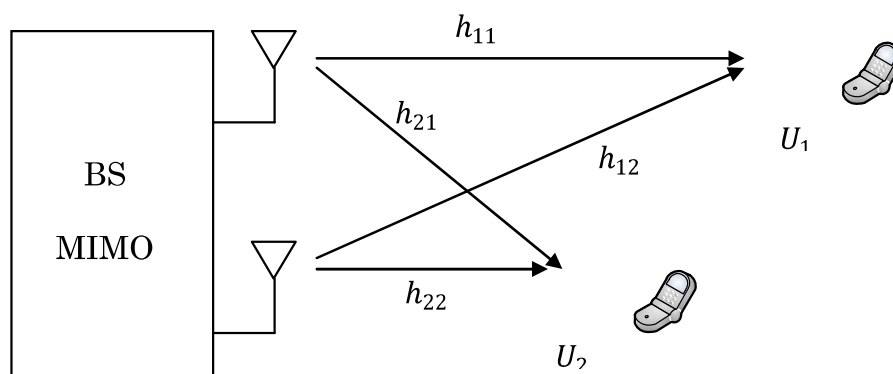


Figure 3.1: Modèle d'un système NOMA MIMO (2x1).

3.3 Modèle du signal

3.3.1 Signal transmis SC (Superposition Coding)

Le signal transmis par les deux antennes d'émission est donné par,

$$x = \sqrt{P}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) \quad (3.1)$$

Où α_1 et α_2 sont les coefficients d'allocation de puissance NOMA. Puisque U_1 est l'utilisateur faible, nous avons $\alpha_1 > \alpha_2$.

3.3.2 Signal reçu dans les utilisateurs

x est transmis simultanément par les deux antennes d'émission. Par conséquent, le signal reçu à U_1 est,

$$y_1 = xh_{11} + xh_{12} + n_1 = x(h_{11} + h_{12}) + n_1 \quad (3.2)$$

De même, le signal reçu par U_2 est donné par,

$$y_2 = xh_{21} + xh_{22} + n_2 = x(h_{21} + h_{22}) + n_2 \quad (3.3)$$

Ici, n_1 et n_2 sont des échantillons de bruit AWGN avec une moyenne nulle et une variance σ^2 .

3.3.3 Décodage à l'utilisateur 1

Maintenant, U_1 doit décoder x_1 à partir de y_1 . Puisque U_1 est l'utilisateur faible, son signal, x_1 est alloué plus de puissance. Autrement dit, $\alpha_1 > \alpha_2$. Par conséquent, il peut directement décoder x_1 à partir de y_1 , en traitant le terme x_2 comme une interférence ou bruit.

En remplaçant x dans l'équation (3.2), nous obtenons,

$$y_1 = \sqrt{P}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2)(h_{11} + h_{12}) + n_1 \quad (3.4)$$

$$y_1 = \sqrt{P}\sqrt{\alpha_1}x_1(h_{11} + h_{12}) + \sqrt{P}\sqrt{\alpha_2}x_2(h_{11} + h_{12}) + n_1 \quad (3.5)$$

Maintenant, nous pouvons écrire l'équation SINR pour U_1 en décodant x_1 comme suit,

$$SINR_1 = \frac{P\alpha_1|h_{11} + h_{12}|^2}{P\alpha_2|h_{11} + h_{12}|^2 + \sigma^2} \quad (3.6)$$

Par conséquent, la capacité réalisable à U_1 est donné par,

$$R_1 = \log_2(1 + SINR_1) \quad (3.7)$$

3.3.4 Décodage à l'utilisateur 2

U_2 doit décoder x_2 à partir de y_2 . Puisque U_2 est l'utilisateur fort, son signal, x_2 est alloué moins de puissance. Par conséquent, en y_2 , la puissance du terme x_1 sera dominante. Ainsi, U_2 effectuera d'abord un décodage direct sur y_2 pour obtenir x_1 . Ensuite, une annulation d'interférence successive (SIC) est effectuée pour supprimer x_1 . Ensuite, x_2 est décodé.

En remplaçant x dans l'équation (3,3), nous obtenons,

$$y_2 = \sqrt{P}\sqrt{\alpha_1}x_1(h_{21} + h_{22}) + \sqrt{P}\sqrt{\alpha_2}x_2(h_{21} + h_{22}) + n_2 \quad (3.8)$$

Le SINR en U_1 pour le décodage direct de x_1 est,

$$SINR_{12} = \frac{P\alpha_1|h_{21} + h_{22}|^2}{P\alpha_2|h_{21} + h_{22}|^2 + \sigma^2} \quad (3.9)$$

Après SIC, le premier terme de (3.8) sera supprimé et le signal restant sera,

$$y_2' = \sqrt{P}\sqrt{\alpha_2}x_2(h_{21} + h_{22}) + n_2 \quad (3.10)$$

Maintenant, le SNR pour U_2 pour décoder son propre signal est donné par,

$$SINR_2 = \frac{P\alpha_2|h_{21}+h_{22}|^2}{\sigma^2} \quad (3.11)$$

Enfin, les capacités réalisables en U_2 pour le décodage x_1 et x_2 sont donnés par,

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (3.12)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (3.13)$$

3.4 Le système OMA MIMO

Pour voir les performances de notre système NOMA MIMO, nous allons utiliser un système OMA MIMO comme base de référence. Dans OMA MIMO, nous divisons notre transmission en deux tranches de temps égales. Dans le premier intervalle de temps, les deux antennes émettent vers U_1 et dans le second intervalle de temps, les deux antennes transmettent vers U_2 .

Le signal transmis par les deux antennes dans la tranche de temps 1 à U_1 est Px_1 . Le signal reçu à U_1 est,

$$y_{1,OMA} = \sqrt{P}x_1(h_{11} + h_{12}) + n_1 \quad (3.14)$$

De même, le signal transmis par les deux antennes dans la tranche de temps 2 à U_2 est Px_2 et le signal reçu à U_2 est,

$$y_{2,OMA} = \sqrt{P}x_2(h_{21} + h_{22}) + n_1 \quad (3.15)$$

Les SNRs en U_1 et U_2 sont,

$$SNR_{1,OMA} = \frac{P|h_{11} + h_{12}|^2}{\sigma^2} \quad (3.16)$$

$$SNR_{2,OMA} = \frac{P|h_{21} + h_{22}|^2}{\sigma^2} \quad (3.17)$$

Par conséquent, les capacités de OMA MIMO pour U_1 et U_2 sont,

$$R_{1,OMA} = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR_{1,OMA}) \quad (3.18)$$

$$R_{2,OMA} = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR_{2,OMA}) \quad (3.19)$$

Le facteur $\frac{1}{2}$ en (3.18) et (3.19) est dû au fait que seule la moitié de la tranche de temps est utilisée pour communiquer avec chaque utilisateur. Alors que dans NOMA MIMO, la tranche de temps entière est utilisée pour la transmission simultanée aux deux utilisateurs.

3.5 Résultats et simulation

Dans cette section, nous étudions la capacité globale et la probabilité de panne de notre système NOMA MIMO. Les paramètres de simulation suivants ont été utilisés :

Table 3.1: Paramètres de simulation

Paramètre	Valeur
Bande passante	1 MHz
Distance d'utilisateur U_1 (d_1)	300 m
Distance d'utilisateur U_2 (d_2)	100 m
Perte de trajet	4
α_1	0.70
α_2	0.30

3.5.1 La somme des débits réalisables

La somme des capacités NOMA MIMO est, $R_1 + R_2$, tandis que celle de OMA MIMO est, $R_{1,OMA} + R_{2,OMA}$.

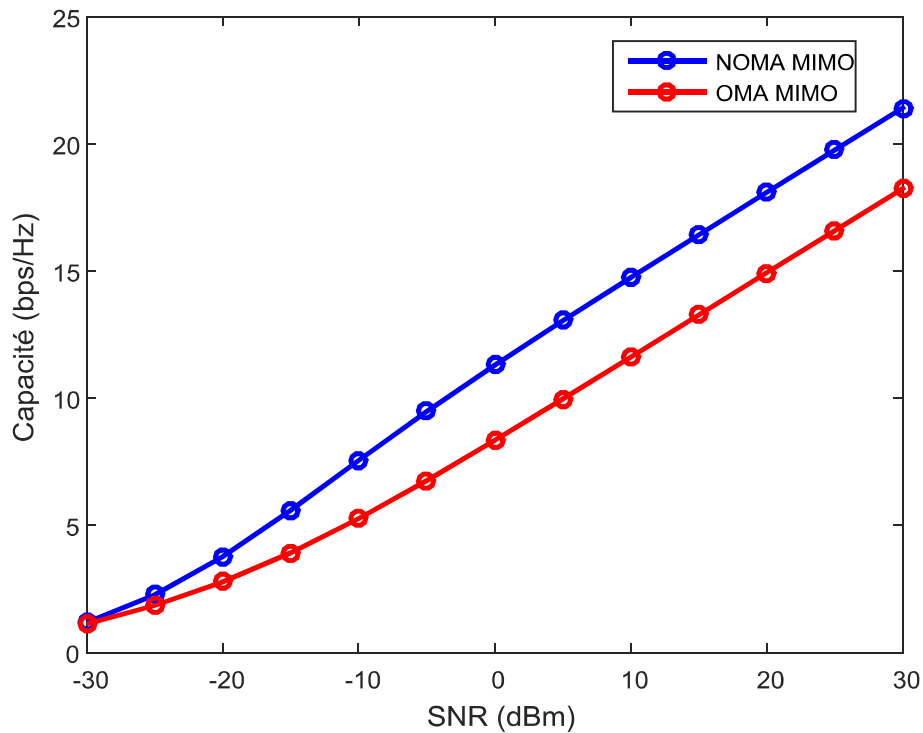


Figure 3.2: La capacité globale de NOMA MIMO et OMA MIMO.

Il est très clair que NOMA MIMO fournit une capacité plus élevée qu'OMA MIMO, en raison du fait que les deux utilisateurs sont desservis simultanément avec la même ressource de fréquence.

Si nous représentons les capacités individuelles, nous obtenons le graphique intéressant de la figure 3.3.

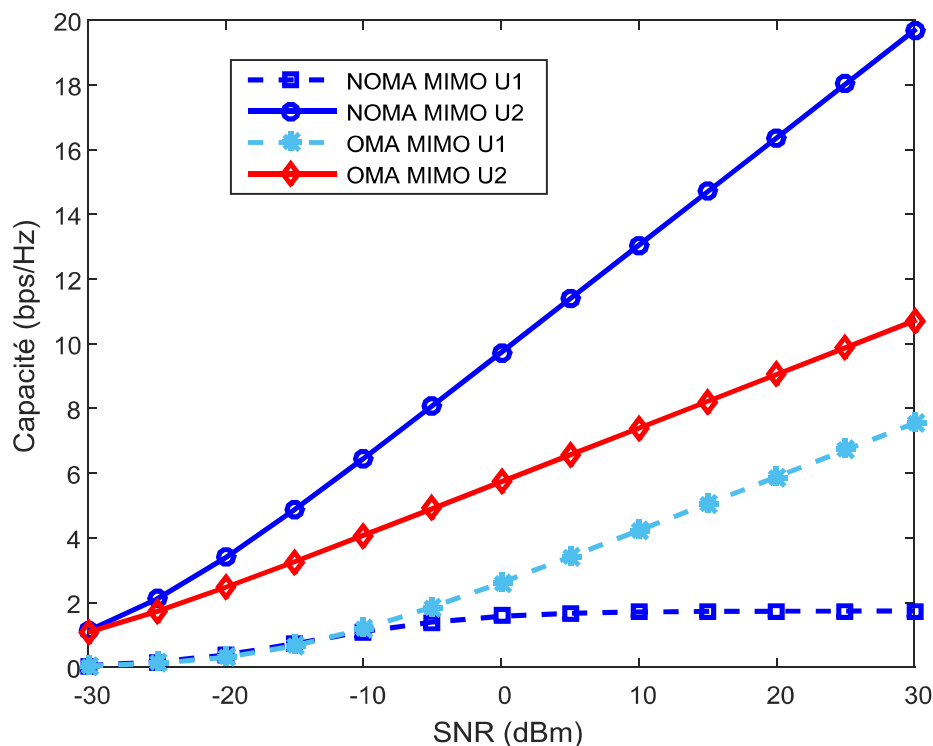


Figure 3.3: La capacité de chaque utilisateur.

La figure 3.3 présente les capacités de chaque utilisateur des systèmes NOMA MIMO et OMA MIMO. On peut remarquer que l'utilisateur faible souffre d'une saturation de sa capacité atteignable après une puissance d'émission de 10 dBm. C'est un thème caractéristique que nous observons dans tous les réseaux NOMA. L'interférence subie par un utilisateur faible se traduit par une saturation de sa capacité. Cette saturation de la capacité ne posera pas de problème si le taux de données requis de l'utilisateur faible est inférieur à la limite de saturation. Ce problème n'est pas présent dans OMA car l'utilisateur faible ne souffre pas d'interférences dues aux transmissions simultanées.

3.5.2 Probabilités de panne

Dans cette section, nous traçons les graphiques des pannes des utilisateurs pour les schémas NOMA MIMO et OMA MIMO. Puisque nous utilisons une allocation de puissance fixe, il est très important de choisir correctement les taux cibles et les coefficients d'allocation de puissance. Choisissons le débit cible pour l'utilisateur faible (U_1) pour être $R_1^* = 1 \text{ bps/Hz}$ et celui de l'utilisateur fort (U_2) pour être $R_2^* = 3 \text{ bps/Hz}$.

3.5.2.1 NOMA MIMO

L'utilisateur faible (U_1) est en panne si son débit réalisable, R_1 est inférieur à son débit cible, R_1^* . Mathématiquement, nous pouvons écrire cela comme,

$$P_{noma}^1 = Pr(R_1 < R_1^*) \quad (3.20)$$

L'utilisateur fort doit décoder correctement le message de U_1 et son propre message. Autrement dit, les taux cibles de U_1 et U_2 doivent être atteints par l'utilisateur fort. Si le débit cible de U_1 n'est pas atteint ou si le taux cible de U_1 est atteint mais que celui de U_2 n'est pas atteint, alors U_2 sera en panne. Mathématiquement,

$$P_{noma}^2 = Pr(R_{12} < R_1^*) + Pr(R_{12} > R_1^*, R_2 < R_2^*) \quad (3.21)$$

3.5.2.2 OMA MIMO

Les équations de panne pour OMA MIMO sont simples.

$$P_{oma}^1 = Pr(R_{1,oma} < R_1^*) \quad (3.22)$$

$$P_{oma}^2 = Pr(R_{2,oma} < R_2^*) \quad (3.23)$$

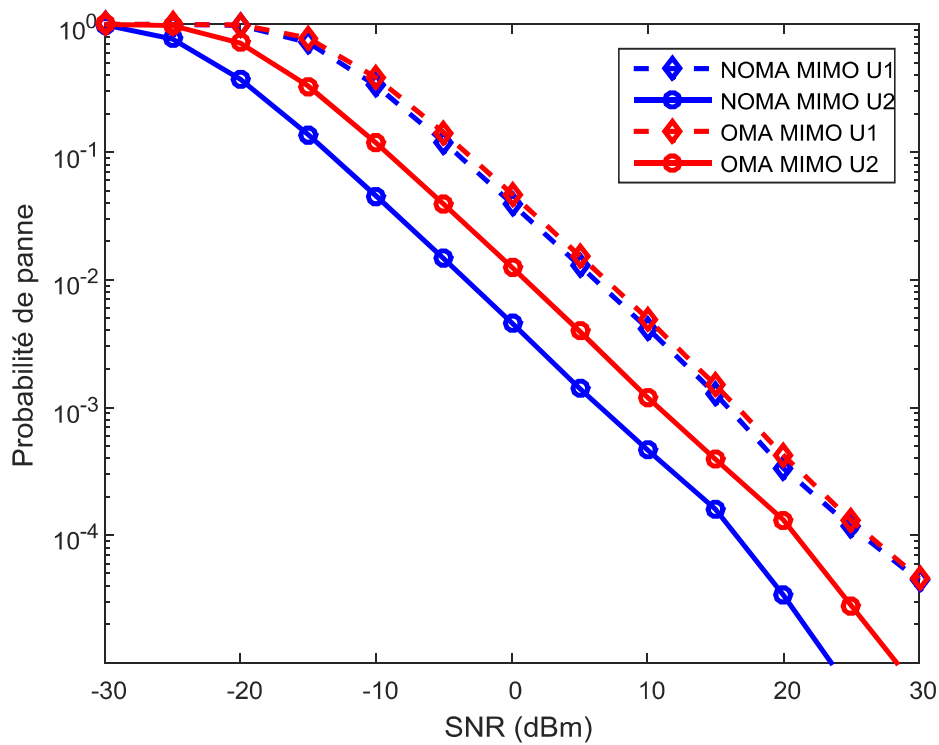


Figure 3.4: Probabilité de panne pour chaque utilisateur.

La figure 3.4 présente la probabilité de panne de chaque utilisateur pour les deux systèmes NOMA MIMO et OMA MIMO. Il est clair que NOMA MIMO réalise moins de pannes qu'OMA pour les deux utilisateurs, comme prévu. De même, la probabilité de panne de l'utilisateur fort est moins que celle de l'utilisateur faible.

3.6 Conclusion

Le système NOMA est combiné dans la littérature avec plusieurs techniques et schémas, comme les techniques MIMO et coopératives. Le but est d'optimiser les performances de la communication et de satisfaire les exigences des utilisateurs. Dans ce chapitre nous avons examiné par simulation la combinaison NOMA MIMO comparée avec OMA MIMO. Les résultats obtenus lors de cette étude ont montré que les performances de NOMA MIMO surmontent celles d'OMA MIMO en termes de capacité et de probabilité de panne. Par conséquent, cette combinaison peut jouer un rôle très important dans les réseaux de future génération.

Conclusion générale

NOMA est fondamentalement différent des autres schémas d'accès multiples qui fournissent un accès orthogonal aux utilisateurs soit dans le temps, la fréquence, le code ou l'espace. Dans NOMA, chaque utilisateur fonctionne dans la même bande et en même temps où il se distingue par ses niveaux de puissance. NOMA utilise un codage de superposition au niveau de l'émetteur de sorte que le récepteur à annulation d'interférence successive (SIC) puisse séparer les utilisateurs à la fois dans les canaux de liaison montante et de liaison descendante. NOMA a été proposée comme technologie d'accès radio candidate pour les systèmes cellulaires 5G et au delà. La mise en œuvre pratique de NOMA dans les réseaux cellulaires nécessite une puissance de calcul élevée pour mettre en œuvre l'allocation de puissance en temps réel et les algorithmes successifs d'annulation des interférences. Le système NOMA est combiné dans la littérature avec plusieurs techniques et schémas, comme les techniques MIMO et coopératives. Dans ce mémoire, nous avons combiné entre NOMA et MIMO afin d'optimiser les performances de la communication et de satisfaire les exigences des utilisateurs.

Dans ce mémoire nous avons présenté au début une étude de la technologie NOMA et de ses concepts en liaison montante et descendante. Nous avons également présenté le système MIMO et ses dérivées SIMO et MISO ainsi que les récepteurs MIMO linéaires ZF et MMSE. Dans la partie résultats et simulations, nous avons analysé et comparé les performances de NOMA MIMO avec OMA MIMO en termes de capacité et de probabilité de panne.

Les résultats obtenus lors de cette analyse et simulation ont montré que les performances du NOMA MIMO dépassent celles d'OMA MIMO en termes de capacité et de probabilité de panne. Par conséquent, nous concluons que NOMA MIMO est meilleur par rapport OMA NOMA et peut jouer un rôle important dans les futures générations des réseaux cellulaires.

Bibliographies

- [1] L. Lei, "From Orthogonal to Non-orthogonal Multiple Access: Energy- and Spectrum-Efficient Resource Allocation," *From Orthogonal to Non-orthogonal Mult. Access Energy- Spectrum-Efficient Resour. Alloc.*, no. 1752, 2016, doi: 10.3384/diss.diva-126937.
- [2] J. Harshan and B. S. Rajan, "Orthogonal vs Non-Orthogonal Multiple Access with Finite Input Alphabet and Finite Bandwidth," p. 7, 2010, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1001.0357>.
- [3] M. Ad, "Study and simulation of Sparse Code Multiple Access (SCMA) for 5G New Radio," University of Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, 2019.
- [4] L. Frenzel, "Fundamentals of Communications Access Technologies: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, AND SDMA." <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21802209/electronic-design-fundamentals-of-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma#TDMA>".
- [5] "Différence entre FDMA, TDMA et CDMA." <https://waytolearnx.com/2018/07/difference-entre-fdma-tdma-et-cdma.html>.
- [6] "Difference between FDMA, TDMA and CDMA," [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-fdma-tdma-and-cdma/>.
- [7] "Orthogonal Frequency Division Multiple Access," in *Digital Signal Processing 101*, Second Edi., 2017.
- [8] I. Bukar, "Spectrally efficient Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) techniques for future generation mobile systems," University of Sussex, 2017.
- [9] H. G. Myung and D. J. Goodman, *Single carrier FDMA: A new air interface for long term evolution*. 2008.

-
- [10] “No Title,” [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en>.
- [11] Huawei, “Is SC-FDMA physically a multi carrier modulation?,” *Huawei*. <https://www.quora.com/Is-SC-FDMA-physically-a-multi-carrier-modulation> (accessed May 05, 2021).
- [12] H. K. Bizaki, *Towards 5G Wireless Networks A Physical Layer Perspective*. ExLi4EvA.
- [13] Z. Ding, X. Lei, G. K. Karagiannidis, R. Schober, J. Yuan, and V. K. Bhargava, “A Survey on Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Networks: Research Challenges and Future Trends,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 10, pp. 2181–2195, 2017, doi: 10.1109/JSAC.2017.2725519.
- [14] Y. Chen *et al.*, “Toward the Standardization of Non-Orthogonal Multiple Access for Next Generation Wireless Networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 3, pp. 19–27, 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700845.
- [15] NTT Docomo, “5G Radio Access: Requirements, Concept and Technologies,” *NTT DOCOMO White Pap.*, no. July, pp. 1–13, 2014.
- [16] S. M. Riazul Islam, M. Zeng, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Non-orthogonal multiple access (NOMA): How it meets 5g and beyond,” *arXiv*, 2019, doi: 10.1002/9781119471509.w5gref032.
- [17] R.-153335 3GPP, “NON ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS Presented,” 2016.
- [18] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. L. I, and Z. Wang, “Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74–81, 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7263349.
- [19] Y. Liu, Z. Qin, and M. ElKashlan, “Non-Orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond,” pp. 1–65.
- [20] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2621116.
- [21] A. Diallo, “SYSTEMES MULTI-ANTENNES POUR DIVERSITE ET MIMO,” UNIVERSITE DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS UFR SCIENCES, 2014.

- [22] “SISO (single input, single output).” <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/SISO> (accessed Apr. 27, 2021).
- [23] B. H. BELBACHIR Houssameddine, “Simulation des antennes MIMO adaptatives associées avec la technique MC-CDMA,” UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMEN, 2015.
- [24] C. Olivier, Y. Pousset, C. Perrine, and C. Bergeron, “STRATEGIE DE CODAGE CONJOINT POUR LA TRANSMISSION D’IMAGES DANS UN SYSTEME MIMO,” UNIVERSITE DE POITIERS, 2012.
- [25] K. Kassmi and M. H. F. Olivié, “CONCEPTION ET SIMULATION D’UNE ANTENNE MIMO,” *Sci. Technol. pour le Handicap*, vol. 10, no. 2, pp. 123–141, 2007.
- [26] Mathuranathan, “Receive diversity schemes – channel models.” <https://www.gaussianwaves.com/2019/12/single-input-multiple-output-simo-models-for-receive-diversity/> (accessed Apr. 28, 2021).
- [27] F. SOUHILA, “Etude et Implémentation d’un Système MIMO dans un Contexte OFDM,” UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMEN, 2010.
- [28] S. Saunders and A. Aragón, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, 2nded, John Wiley & Sons, Chichester, Second Edi. Wiley*, 2007.
- [29] R. Addaci, “Conception d’éléments rayonnants pour systèmes d’interrogation multi antennaires en environnements de propagation difficiles et fortement bruités,” École doctorale Sciences et technologies de l’information et de la communication, 2011.
- [30] T. S. Lee and Z. S. Lee, “A beamspace diversity combiner for sector division multiple access communications,” *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. 1998 Dig. - Antennas Gateways to Glob. Netw. - Held conjunction with Usn. Natl. Radio Sci. Meet.*, vol. 1, no. 0, pp. 372–375, 1998, doi: 10.1109/APS.1998.699157.
- [31] M. Schwartz, W. R. Bennett, and S. Stein, *Communication Systems and Techniques*, vol. 34, no. 5. 2005.
- [32] Z. EL-HADJ, “Application de la technologie MIMO dans les réseaux WI-FI,” Université ABOU-BEKR BELKAÏD, Tlemcen, 2006.
- [33] H. Fu, “Spectral resource optimization for MU-MIMO systems with partial frequency

bandwidth overlay,” IETR - Institut d'Électronique et des Technologies du numéRique.

- [34] F. SOUHILA, “Etude de la capacité du canal de propagation dans un système MIMO,” Université ABOU-BEKR BELKAÏD, Tlemcen, 2007.