

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

*Analyse de la couverture 5G avec la géométrie
stochastique*

Préparé par :

BOUHADAD Fatiha

BOUSSAA Leila

Dirigé par :

Dr. OUAMRI Mohamed Amine

Examiné par :

Mr. TOUNSI Mohamed

Mr. BERRAH Smail

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Il nous est agréable et important de réserver cette page comme le témoignage de notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenues pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions Dieu le tout-puissant pour sa grâce qu'il nous accorde tous les jours.

Nous remercions notre encadreur Mr OUAMRI Mohamed Amine, pour son encadrement qui nous a été précieux afin de mener notre travail à terme.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous remercions particulièrement nos chères familles respectives qui n'ont pas cessé de nous encourager et de nous motiver durant tout notre parcours éducatif.

Nous remercions nos chers ami(e)s, particulièrement ABDELALI Lyes de nous avoir soutenu durant toute la phase de préparation.

Dédicaces

*C'est avec beaucoup de reconnaissance qu'on dédie ce travail à
nos chers parents et grands-parents,*

À nos familles,

À nos frères et sœurs,

À nos ami(e)s

*Et à tous ceux qui ont fait confiance à nos capacités pendant
notre parcours.*

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	iii
Liste des abréviations	iv
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Réseau de nouvelle génération 5G	
Introduction	3
I.1. Évolution des réseaux de nouvelle génération.....	3
I.2. Architecture couche Physique	4
I.2.1. Couche physique LTE	4
I.2.2. Couche physique 5G.....	4
I.3. Mobilité 5G (Handover)	5
I.4. Techniques d'accès	6
I.4.1. Technique d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	7
I.4.2. Technique d'accès NOMA (Non Orthogonal Multiple Access)	7
I.5. Techniques de transmission	12
I.5.1. D'un point de vue propagation (LOS Line Of Sight, NLOS Non Line Of Sight)	13
I.5.2. D'un point de vue antenne	14
I.5.2.1. SISO (Single Input Single Output).....	14
I.5.2.2. MISO (Multiple Input Single Output).....	15
I.5.2.3. SIMO (Single Input Multiple Output).....	16
I.5.2.4. MIMO (Multiple Input Multiple Output).....	16
I.6. Beamforming	18
Conclusion.....	19

Chapitre II : Bases de la 5G

Introduction	20
II.1. Déploiement 5G	20
II.1.1. Réseau hétérogène	20
II.1.2. Déploiement basé sur drones	22
II.2. Modèle de propagation 5G	22
II.3. Modèle rapport signal sur bruit plus interférence SINR	24
II.3.1. Sans beamforming	25
II.3.2. Avec beamforming	25
II.4. Canal 5G	25
II.4.1. Le modèle de canal m-Nakagami	25
II.4.2. Le modèle de canal Rice	26
Conclusion.....	27

Chapitre III : Stochastique géométrie et modèle mathématique

Introduction	28
III.1. Définition de la géométrie stochastique	28
III.2. Processus de Poisson.....	29
III.2.1. Travaux déjà réalisés	30
III.2.2. Modèles du processus Poisson	30
III.2.2.1. Matern Cluster Process.....	31
III.2.2.2. Thomas Cluster Process	31
III.3. Modèle mathématique de notre cas.....	32
III.3.1. Topologie du réseau	32
III.3.2. Interférences	33
III.4. Probabilité d'association des utilisateurs	34

III.5. Rapport signal sur bruit plus interférences (SINR).....	34
III.6. Probabilité de couverture	35
III.6.1. Sans coordination d’interférences	35
III.6.2. Avec coordination d’interférences	36
Conclusion :.....	36
Chapitre IV : Simulations et interprétations des résultats	
Introduction	37
IV.1. Paramètres et environnement de simulation	37
IV.2. Analyse de la couverture.....	37
IV.3. Analyse de la couverture avec ICIC	40
IV.4. Effets de blocage sur les réseaux 5G	41
IV.5. Couverture dans le cas NLOS.....	43
Conclusion.....	43
Conclusion générale	44
ANNEXE 1	vii
ANNEXE 2	x
Bibliographie.....	xii
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1 : Scénario de Mobilité 5G.....	6
Figure I.2 : Technique d'accès OFDMA.....	7
Figure I.3 : Différence entre OFDMA et NOMA pour deux utilisateurs.....	8
Figure I.4 : Annulation des interférences successives.....	8
Figure I.5 : Technique d'accès NOMA pour la liaison descendante avec k utilisateurs.....	9
Figure I.6 : Technique d'accès NOMA pour la liaison montante avec k utilisateurs	11
Figure I.7 : Type de propagation LOS	13
Figure I.8 : Type de propagation NLOS	13
Figure I.9 : Système SISO.....	14
Figure I.10 : Système MISO	15
Figure I.11 : Système SIMO	16
Figure I.12 : Système MIMO	17
Figure I.13 : Concept du beamforming	18
Figure II.1 : Réseau hétérogène.....	22
Figure II.2 : Modèle de perte de chemin	23
Figure II.3 : Densité de probabilité du canal m-Nakagami	26
Figure II.4 : Densité de probabilité du canal Rice.....	27
Figure III.1 : Fonction de masse de probabilité pour la distribution de poisson.....	29
Figure III.2 : Exécution de processus de Cluster Matern sur Matlab.....	31

Figure III.3 : Exécution de processus de Cluster Thomas sur Matlab	32
Figure III.4 : Topologie du réseau utilisé	33
Figure III.5 : Interférences au niveau d'un utilisateur.....	34
Figure IV.1 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en variant le rayon du cluster dans le cas du MCP	38
Figure IV.2 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en fixant le rayon du cluster et variant la puissance de transmission de la MBS.....	38
Figure IV.3 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en variant le rayon du cluster dans le cas du TCP.....	39
Figure IV.4 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en fixant le rayon du cluster et variant la puissance de transmission de la MBS. (Cas du TCP).....	40
Figure IV.5 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR en variant la puissance de transmission des MBS et aussi les rayons de clusters.....	41
Figure IV.6 : Puissance reçu dans les deux cas avec et sans atténuation de pluie	42
Figure IV.7 : Puissance reçue dans le cas NLOS	43

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques des cellules	21
Tableau IV.1 : Paramètres de simulations.....	37

Liste des abréviations

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

4G : 4th Generation

5G : 5th Generation

AMF : Access and Mobility Function

AWGN : Additive White Gaussian Noise

BS : Base Station

CD-NOMA : Code Domain-Non Orthogonal Multiple Access

CDMA : Code Division Multiple Access

CU : Central Unit

C-HetNet : Cellular-Heterogeneous Network

dB : décibel

DU : Distributed Unit

FDD : Frequency Division Duplex

FDMA : Frequency Division Multiple Access

FEC : Forward Error Correction

HetNet : Heterogeneous Network

ICIC : Inter-Cell Interference Coordination

IP : Internet Protocol

gNB : gNodeB

gNB-CU : gNodeB-Central Unit

gNB-DU : gNodeB-Distributed Unit

LOS : Line Of Sight

LTE : Long Term Evolution

MAC : Media Access Control

MBS : Macro Base Station

MCP : Matern Cluster Process

MIMO : Multiple Input Multiple Output

MISO : Multiple Input Single Output

mmWave : millimeter Wave

NAS-SMC : Network Attached Storage-Security Mode Command

NLOS : Non Line Of Sight

NOMA : Non Orthogonal Multiple Access

OFDMA : Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

OMA : Orthogonal Multiple Access

PCP : Poisson Cluster Process

PD-NOMA : Power Domain-Non Orthogonal Multiple Access

PL : Path Loss

PPP : Poisson Point Process

QoS : Quality of Service

RAN : Radio Access Network

RB : Ressources Blocs

SBS : Small Base Station

SC-FDMA : Single Carrier-Frequency Division Multiple Access

SCMA : Sparse Code Multiple Access

SIC : Successive Interference Cancellation

SIMO : Single Input Multiple Output

SINR : Signal to Interference and Noise Ratio

SIR : Signal to Interference Ratio

SISO : Single Input Single Output

SNR : Signal to Noise Ratio

TCP : Thomas Cluster Process

TDD : Time Division Duplex

TDMA : Time Division Multiple Access

UAV : Unmanned Aerial Vehicle

UE : User Equipment

Introduction générale

Il est impossible d'imaginer le monde actuellement hormis les communications sans fil qui est le sujet de recherche en développement croissant, contribuant à l'évolution de plusieurs domaines [1].

Chacune des générations mobiles a apporté un plus à nos smartphones en augmentant le débit d'une génération à une autre, la 1G a permis de téléphoner, la 2G l'envoi des SMS, la 3G l'échange par internet, la 4G le visionnage de la vidéo en ligne. De nos jours la 4G est caractérisée par un nombre d'utilisateurs excessif engendrant une saturation, ce qui a abouti à l'évolution des applications en temps réel avec une conception d'objets connectés nécessitant un passage à une nouvelle génération de réseaux mobiles. Cette nouveauté est fondée sur la réduction de la latence en la rendant très faible et la consommation de l'énergie, ainsi qu'une augmentation de la vitesse de téléchargement et de la rapidité, c'est l'arrivée de la 5G proposant un monde tout connecté [1].

Cette nouvelle technologie à haut débit avec une connectivité massive apporte plusieurs bénéfices aux consommateurs en favorisant la qualité et la rapidité des échanges. Des voitures autonomes, des vidéos téléchargées en quelques secondes, des jeux vidéo comme si on y était, et des chirurgies à distance dans le domaine médical (télémédecine), même pour l'industrie, la 5G permettra d'automatiser et d'améliorer l'interconnexion entre les machines et les systèmes, ainsi que d'optimiser le téléchargement des informations en temps réel [2].

La complexité de certains types de réseaux sans fil a amené à l'utilisation de la géométrie stochastique, qui est considérée comme un moyen crucial d'analyse pour la modélisation et l'évaluation des performances des communications sans fil, notamment, de la 5G pour but de faire de bons choix de conception [3].

Le but ultime de notre travail est l'étude et l'analyse de la couverture d'un réseau 5G hétérogène avec la géométrie stochastique en utilisant les deux formes de distribution à savoir le Matern Cluster Process et le Thomas Cluster Process.

Dans le premier chapitre, nous allons voir brièvement quelques caractéristiques de la 5G avec les différents concepts exploités contribuant à l'évolution de cette dernière.

Le second chapitre est consacré pour la couverture 5G, nous allons présenter son déploiement basé sur deux techniques à savoir les réseaux hétérogènes et les drones, ainsi que le modèle de propagation associé à elle, de plus, un aperçu sur les canaux Rice et m-Nakagami expliquant le principe de chacun.

Le troisième chapitre traite l'ensemble des concepts de base qu'on va utiliser dans notre simulation à savoir la géométrie stochastique, principalement le processus de poisson avec ses deux modèles, le Matern Cluster Process et le Thomas Cluster Process en introduisant le modèle mathématique de notre cas et ses différentes caractéristiques ayant comme but le calcul de la probabilité de couverture et celle d'association des utilisateurs.

Enfin, le quatrième chapitre est dédié à la simulation et à la discussion des différents résultats obtenus concernant la variation de la probabilité de couverture dans le cas de MCP et TCP en prenant en considération quelques paramètres pouvant affecter cette dernière. Nous terminons par une conclusion générale suivie des perspectives.

CHAPITRE I

Réseau de nouvelle génération 5G

Introduction

De nos jours, nous assistons à un développement majeur dans le domaine des réseaux mobiles, notamment avec l'arrivée de la 5^{ème} génération qui contribue à son tour au développement de nouveaux domaines et usages numériques tels que le transport autonome, la robotique ou encore la télémédecine grâce à la richesse de ses propriétés.

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord présenter brièvement l'évolution des réseaux de nouvelle génération (4G et 5G), ensuite, nous allons nous intéresser aux architectures physiques de ces dernières en expliquant le principe de leur fonctionnement, ainsi qu'un aperçu sur la mobilité de la 5G. Nous allons aborder aussi les techniques d'accès essentiellement utilisées (OFDMA et NOMA), ainsi que les techniques de transmission par rapport à deux points de vue différents (propagation et antennaire) qui se manifestent dans l'émergence de plusieurs nouvelles technologies permettant d'augmenter les débits et d'améliorer la qualité de transmission. Nous terminons avec le concept du beamforming qui joue un rôle très important grâce à ses propriétés intéressantes.

I.1. Évolution des réseaux de nouvelle génération

Au début des années 2010, le réseau 4G a fait son apparition dans l'univers des télécommunications correspondant à LTE (Long Term Evolution), utilisant une fréquence allant de 2 à 8 GHz avec un débit pouvant atteindre les 100 Mb/s à 1 Gb/s. Elle est basée sur l'accès multiple par répartition de fréquences orthogonales OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour la liaison descendante et de l'accès multiple par répartition de fréquence sur une seule porteuse SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) pour la liaison montante. Sa caractéristique principale est le passage à une structure tout IP [4].

Afin de surmonter les contraintes de la technologie 4G LTE et améliorer le débit ainsi que ses services, une nouvelle génération connaîtra son arrivée en 2020 qui est la 5G. Elle est caractérisée par une large gamme de services, des débits dix fois plus rapides que la 4G, une latence très faible et surtout elle permettra aux utilisateurs de suivre le rythme des besoins actuels et futurs du tout connecté [5].

I.2. Architecture couche Physique

La couche physique (Physical Layer) assure le routage des données binaires sur des supports physiques (ondes, câbles, lumières), elle englobe des aspects intéressants pour le canal de communication entre l'UE et le réseau central ainsi que d'autres aspects tels que la modulation et la formation de faisceaux [6].

I.2.1. Couche physique LTE

Dans LTE, la couche physique est utilisée pour recevoir et transmettre toutes les informations. Sa fonction principale est basée sur la garantie de la diffusion de données afin de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations du canal radio mobile [7]. Cette couche prend en charge la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour la liaison descendante et la technique SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) pour la liaison montante, elle offre également trois modes de transfert : Full Duplex FDD (Frequency Division Duplex), Half Duplex FDD et TDD (Time Division Duplex) [8].

I.2.2. Couche physique 5G

Les changements les plus importants qui sont apportés à l'architecture du protocole dans le réseau 5G se situent à la couche physique. Les nouvelles normes de couche PHY définissent une interface de partage flexible pour prendre en charge la plupart des applications introduites dans la 5G. Cette couche comprend des aspects liés au canal de communication entre le dispositif de l'utilisateur et le réseau central. Les données de la couche MAC sont transportées vers la couche physique à l'aide des canaux de transport, qui sont caractérisés par la forme d'informations transmettant sur l'interface radio [6].

La couche physique 5G a de nombreuses fonctions, telles que la détection des erreurs de distribution sur le canal de transport, la modulation et la démodulation des données sur l'interface radio. Cette couche permet l'utilisation de FEC (Forward Error Correction) du canal de transmission pour les fonctions de codage et de décodage, l'affectation des symboles de codage sur les canaux physiques et le traitement des antennes avec plusieurs entrées et plusieurs sorties (MIMO), ainsi que la mesure des propriétés radio pour les envoyer à des couches plus hautes [9].

I.3. Mobilité 5G (Handover)

La mobilité dans la cellule est définie comme un élément central de la communication cellulaire, généralement c'est l'ensemble des opérations effectuées qui permettent à une station mobile de changer de cellule sans interruption de service. Dans les systèmes 5G, le handover est considéré comme une fonction très importante, qui se réfère au transfert de la distribution de données d'un composant du réseau à un autre [10].

En 5G, le choix du handover (Xn ou N2) se produit par rapport aux propriétés de sécurité d'un gNB donné. Le gNB est constitué d'une unité centrale (CU, Central Unit) avec un ensemble d'unités distribuées (DU, Distributed Unit) [11]. Le scénario de mobilité 5G est présenté comme suit :

- **Xn Handover** : La transmission de l'UE d'un gNB source sur l'interface Xn vers un gNB cible est appelée Xn handover. Le gNB source comprend la fonction de sécurité de l'UE 5G dans le message de demande de transfert qui contient les algorithmes de chiffrement et d'intégrité utilisés dans la cellule source. Le gNB cible sélectionne l'algorithme de priorité la plus haute parmi les fonctions de sécurité 5G que l'UE reçoit en fonction de la liste de priorités d'algorithme configurée localement. Dans le message de changement de chemin (Path-Switch), le gNB cible envoie la fonction de sécurité UE 5G reçue du gNB source à l'AMF (Access and Mobility Function). L'AMF vérifiera si les capacités de sécurité 5G de l'UE reçues du gNB cible sont les mêmes que les capacités de sécurité 5G de l'UE stockées localement par l'AMF. Si elles ne correspondent pas, l'AMF enverra sa fonction de sécurité 5G stockée localement de l'UE au gNB cible dans le message d'accusé de changement de chemin [12].
- **N2 Handover** : Le transfert d'un gNB source à un gNB cible sur l'interface N2, peut inclure un changement d'AMF, appelé N2 handover ou inter-AMF handover. Pour la transmission N2, lorsqu'une procédure de contrôle du mode de sécurité NAS-SMC (Network Attached Storage-Security Mode Command) est en cours avec l'UE, l'AMF ne démarre aucune procédure N2, y compris la nouvelle clé vers un UE. Si l'une des procédures N2 contient une nouvelle clé qui apparaît avec l'UE, l'AMF ne lancera pas de NAS-SMC vers un UE [12].

- **Intra-gNB-CU Handover** : Ce type de transfert se produit dans les gNB avec DU-CU séparés, où l'UE dirige le transfert entre les DU dans un gNB-CU. Il n'est pas nécessaire de modifier les algorithmes de sécurité du transfert intra gNB-CU, car le point de terminaison de sécurité reste le même. Si l'UE ne reçoit pas d'indication de nouveaux algorithmes de sécurité pendant le transfert intra-gNB-CU, l'UE peut continuer à utiliser les mêmes algorithmes qu'avant [12].

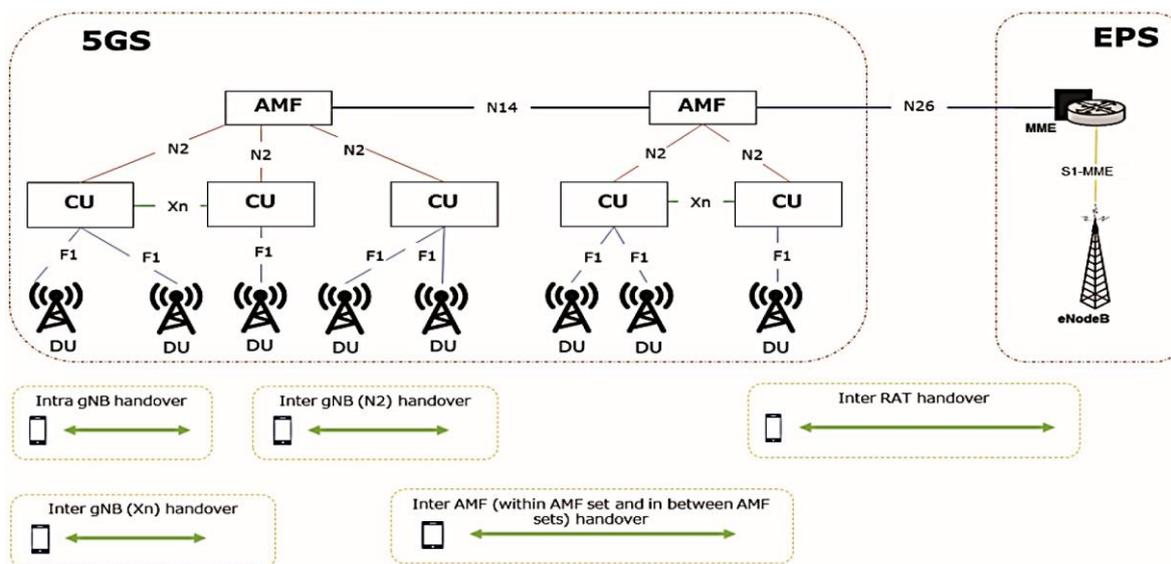


Figure I.1 : Scénario de Mobilité 5G [12]

I.4. Techniques d'accès

L'accès multiple est la façon la plus efficace afin de partager les ressources spectrales entre plusieurs utilisateurs d'un système radio mobile. Les réseaux cellulaires mettent en œuvre un ensemble de techniques d'accès multiples, telles que l'accès multiple par répartition en fréquence FDMA, qui divise la bande passante en fréquences, une ou plusieurs de ces dernières sont attribuées à chaque utilisateur et l'accès multiple par répartition dans le temps TDMA, qui consiste à diviser la bande de fréquences en intervalles de temps (time slots) de façon à les répartir entre les utilisateurs [13].

Avec l'arrivée de la 4G, l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence OFDMA a fait son apparition, cependant, aucune de ces techniques ne peut répondre aux exigences élevées des futurs systèmes d'accès radio tel que la 5G, pour cela une nouvelle technique non orthogonale NOMA sera adoptée [14].

I.4.1. Technique d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

C'est une technique de multiplexage d'accès orthogonale et de codage de données, utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile 4G et 5G. Le principe de l'OFDMA est de répartir le signal numérique à transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses, permettant d'avoir sur chaque canal un débit plus faible pour un même débit global et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 us pour le LTE), un nombre précis de sous porteuses est attribué aux utilisateurs pour un time slot prédéterminé. L'avantage est de limiter les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux chemins multiples de propagation [15]. Les sous-porteuses sont regroupées en groupes nommés sous canaux de façon à ce que celles formant un même sous canal ne soient pas adjacentes [15].

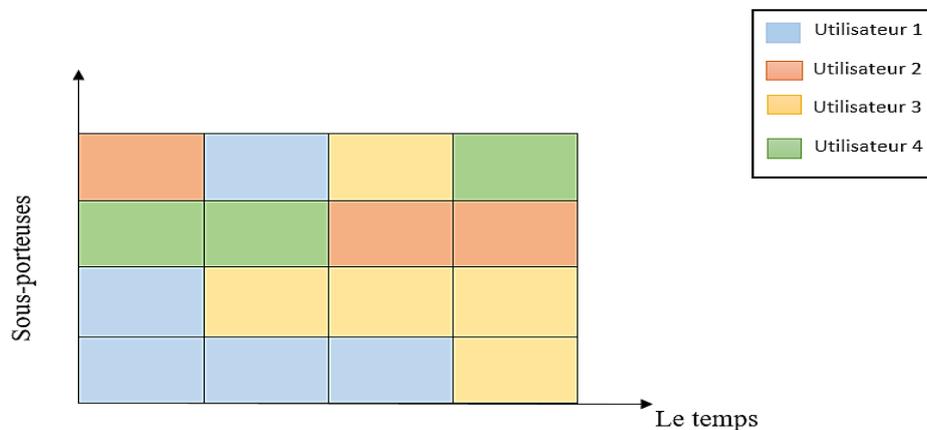


Figure I.2 : Technique d'accès OFDMA

I.4.2. Technique d'accès NOMA (Non Orthogonal Multiple Access)

C'est une technique d'accès non orthogonale basée sur le multiplexage en puissance, proposée pour les réseaux 5G afin d'améliorer l'efficacité spectrale et surmonter les contraintes de la technique orthogonale OMA. Elle permet à plusieurs utilisateurs d'utiliser la même sous porteuse aux mêmes ressources (fréquences, temps ou code). Des codes différents sont attribués à chaque utilisateur afin de distinguer entre eux : SCMA (Sparse Code Multiple Access) combinaison du CDMA (Code Division Multiple Access) [16].

Les systèmes NOMA peuvent être classés en deux catégories : domaine de puissance NOMA (PD-NOMA) et domaine de code NOMA (CD-NOMA). Le concept PD-NOMA est d'attribuer un niveau de puissance unique à un ou plusieurs utilisateurs, ses derniers transmettent leurs signaux en partageant les mêmes ressources de code temps-fréquence, chacun utilisant sa puissance allouée. CD-NOMA s'appuie sur des livres de codes, des séquences d'étalement, des motifs d'entrelacement ou du brouillage des séquences pour allouer de manière non orthogonale

des ressources aux utilisateurs [17]. NOMA favorise une connectivité massive tout en offrant une grande capacité, réduit la latence, améliore l'équité de l'utilisateur et l'efficacité spectrale, ainsi qu'elle augmente la fiabilité par rapport aux techniques d'accès multiples orthogonales (OMA) [16].

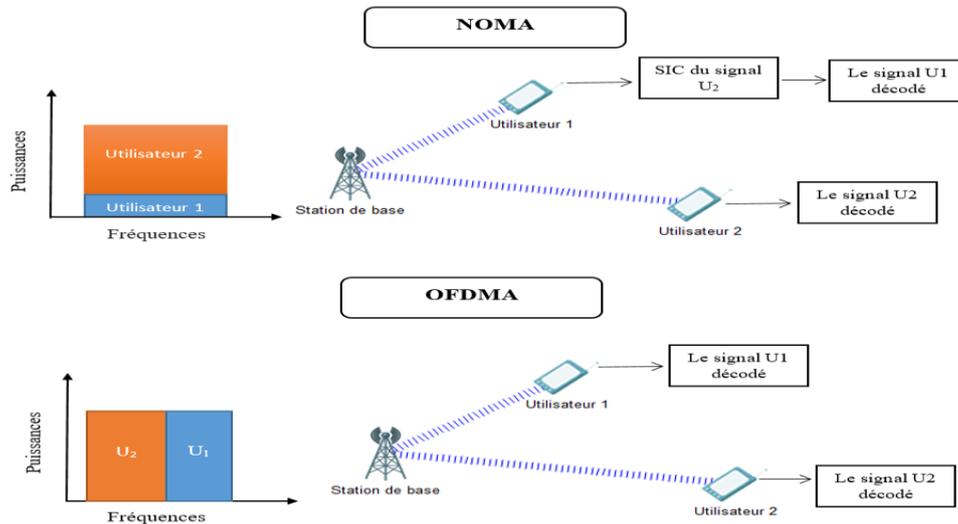


Figure I.3 : Différence entre OFDMA et NOMA pour deux utilisateurs

Les signaux d'informations individuels sont superposés en une seule forme d'onde, tandis qu'au niveau du récepteur, SIC (Successive Interference Cancellation) décode les signaux un par un jusqu'à ce qu'il trouve le signal souhaité [18]. La figure en dessous illustre le concept :

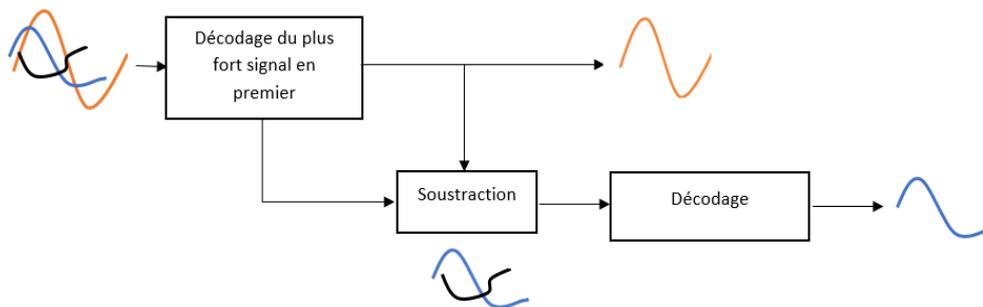


Figure I.4 : Annulation des interférences successives

Les trois signaux d'information sont superposés au niveau de l'émetteur. Le signal reçu au niveau du récepteur SIC comprend l'ensemble des trois signaux, le premier signal décodé par SIC est le plus fort tandis que les autres sont des interférences. Le premier signal décodé est soustrait du signal reçu et si le décodage est parfait, la forme d'onde avec le reste des signaux est obtenue avec précision. SIC itère le processus jusqu'à ce qu'il trouve le signal souhaité [18].

▪ **NOMA pour la liaison descendante :**

La station de base superpose les formes d’ondes d’information pour ses utilisateurs desservis. Chaque équipement utilisateur (UE) utilise SIC pour détecter ses propres signaux [18].

Dans la liaison descendante NOMA, plus de puissance est allouée à l’UE situé plus loin de la BS et la plus faible puissance à l’UE le plus proche de la BS. Tous les UE reçoivent le même signal qui contient les informations pour tous les utilisateurs, chaque UE décode d’abord le signal le plus fort, puis soustrait le signal décodé du signal reçu. Le récepteur SIC répète la soustraction jusqu’à ce qu’il trouve son propre signal [18].

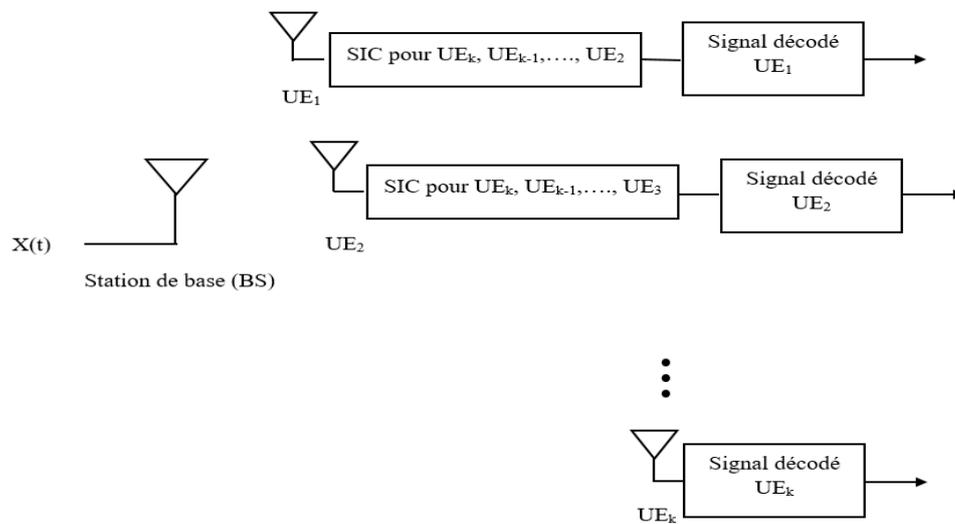


Figure I.5 : Technique d’accès NOMA pour la liaison descendante avec k utilisateurs

Le signal transmis par la BS est écrit comme suit [18] :

$$x(t) = \sum_{k=1}^k \sqrt{a_k P_T} x_k(t) \tag{I.1}$$

Où :

$x_k(t)$: L’information de l’utilisateur k ;

a_k : Le coefficient d’allocation de puissance pour l’UE_k ;

P_T : La puissance d’émission à la BS.

La puissance allouée à chaque UE_k devient alors :

$$P_k = a_k P_T \tag{I.2}$$

Le signal reçu au niveau de l'UE_k est [18] :

$$y_k(t) = x(t)g_k + w_k(t) \quad (I.3)$$

Où :

g_k : Le facteur d'atténuation de canal pour la liaison entre la BS et l'UE_k ;

$w_k(t)$: Le bruit gaussien blanc additif au niveau de l'UE_k avec une moyenne de zéro et une densité N_0 (W / Hz).

Le rapport signal sur bruit (SNR) pour UE_k peut être écrit comme [18] :

$$SNR_k = \frac{P g_k^2}{N_0 W + \sum_{i=1}^{k-1} P_i g_k^2} \quad (I.4)$$

Où : W est la bande passante de transmission.

En supposant une annulation parfaite, le SNR pour UE₁ devient [18] :

$$SNR_1 = \frac{P g_1^2}{N_0 W} \quad (I.5)$$

Le débit pour chaque UE s'écrit [18] :

$$D_k = W \log_2 \left(1 + \frac{P_k g_k^2}{N + \sum_{i=1}^{k-1} P_i g_k^2} \right) \quad (I.6)$$

En OFDMA, le débit s'écrit [18] :

$$D_k = W_k \log_2 \left(1 + \frac{P_k g_k^2}{N_k} \right) \quad (I.7)$$

Avec :

$$W_k = \frac{W}{k} \quad (I.8)$$

$$N_k = N_0 W_k \quad (I.9)$$

La somme des capacités OFDMA et NOMA est [18] :

$$D_T = \sum_{k=1}^k D_k \quad (I.10)$$

▪ **NOMA pour la liaison montante :**

Dans la liaison montante, chaque utilisateur transmet son signal à la BS. Au niveau de la BS, des itérations SIC sont effectuées afin de séparer les signaux des utilisateurs [17].

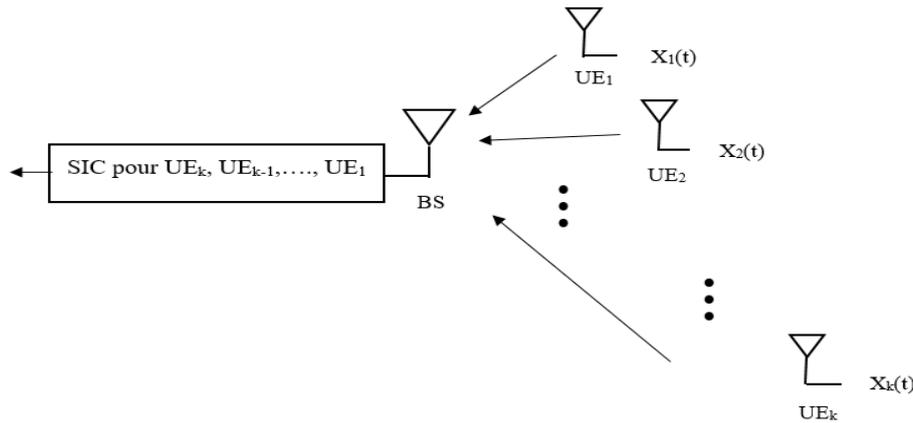


Figure I.6 : Technique d'accès NOMA pour la liaison montante avec k utilisateurs

Le signal reçu à la BS comprend tous les signaux des utilisateurs et s'écrit comme suit [18] :

$$y(t) = \sum_{k=1}^k x_k(t)g_k + w(t) \quad (\text{I.11})$$

Où :

g_k : Le coefficient de canal entre la BS et l'UE $_k$;

$x_k(t)$: L'information de l'utilisateur k ;

$w(t)$: Le bruit AWGN à la BS avec une moyenne zéro et une densité spectrale de puissance $N_0(W/Hz)$.

Le premier signal à détecter provient de l'utilisateur le plus proche de la BS (UE $_1$), son rapport signal sur bruit sera donc [18] :

$$SNR_1 = \frac{P_k g_1^2}{N + \sum_{i=2}^k P g_i^2} \quad (\text{I.12})$$

Où : P est la puissance d'émission des UEs.

$$N = N_0 W \quad (\text{I.13})$$

Le dernier signal à détecter provient de l'utilisateur le plus éloigné de la BS (UE $_k$), le rapport signal sur bruit sera donc [18] :

$$SNR_k = \frac{P_k g_k^2}{N} \quad (\text{I.14})$$

Le rapport signal sur bruit pour tout utilisateur k , vaut [18] :

$$SNR_1 = \frac{P_k g_k^2}{N + \sum_{i=k+1}^k P g_i^2} \quad (I.15)$$

Le débit de transmission pour chaque utilisateur dans un système NOMA est défini comme suit [18] :

$$D_k = w \log_2 \left(1 + \frac{P_k g_k^2}{N + \sum_{i=k+1}^k P g_i^2} \right) \quad (I.16)$$

Dans un système OFDMA, la bande passante et la puissance sont partagées de manière égale. Le débit de transmission est défini comme suit [18] :

$$D_k = W_k \log_2 \left(1 + \frac{P_k g_k^2}{N_k} \right) \quad (I.17)$$

La relation de la capacité totale pour NOMA et OFDMA s'écrit comme suit [18] :

$$D_T = \sum_{k=1}^k D_k \quad (I.18)$$

L'efficacité spectrale (définie comme étant le nombre de bits par seconde par unité de bande passante pouvant être transmis dans un système de communication) s'écrit [18] :

$$SE = \frac{D_T}{w} \quad (bps/Hz) \quad (I.19)$$

L'efficacité énergétique (peut être définie comme étant le rapport entre le nombre maximum de bits qui peuvent être transmis et l'énergie totale nécessaire consommée, ou par le rapport de la capacité sur la puissance totale utilisée par la BS) s'écrit comme suit [18] :

$$EE = \frac{D_T (bits/s)}{P_{totale} (w=joule/s)} = SE \frac{W}{P_{totale}} \quad (Bits/joule) \quad (I.20)$$

Où P_{totale} est la puissance d'émission totale de la BS, qui est égale à la somme de la puissance consommée par le signal et la puissance consommée par les circuits.

I.5. Techniques de transmission

Des techniques de transmission intéressantes sont utilisées pour assurer le bon acheminement des données qu'on va répartir en deux catégories, d'un point de vue propagation et d'un point de vue antenne.

I.5.1. D'un point de vue propagation (LOS Line Of Sight, NLOS Non Line Of Sight)

Dans la communication sans fil, deux types de propagation sont généralement distingués, le LOS (Line Of Sight) et le NLOS (Non Line Of Sight).

- **LOS :** La ligne de vue directe est un type de propagation dans lequel les données sont envoyées et reçues uniquement lorsqu'il n'y a pas d'obstacle entre les stations émettrices et réceptrices. Sur les longues distances (trajets multiples), la transmission en visibilité directe est limitée par les obstacles géographiques et la courbure terrestre [19].

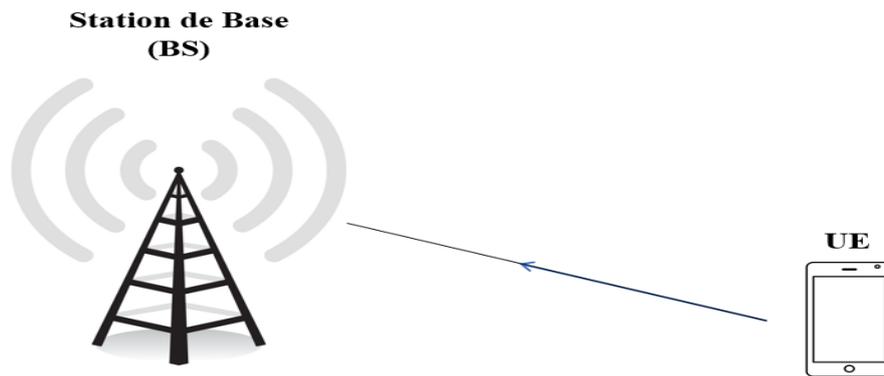


Figure I.7 : Type de propagation LOS

- **NLOS :** Le terme NLOS (Non Line of Sight) est utilisé généralement lorsque l'émetteur et le récepteur radio ne sont pas dans la ligne de vision directe et qui est traité par l'utilisation de trajets multiples dans la propagation du signal. La non ligne de vue, appelée aussi ligne de vue proche, se réfère au trajet de propagation des ondes radio, qui est partiellement ou totalement bloqué par des obstacles. Parmi ces modifications ou obstructions auxquelles les ondes peuvent être soumises, nous pouvons citer : la diffraction, la diffusion et la réflexion [20].

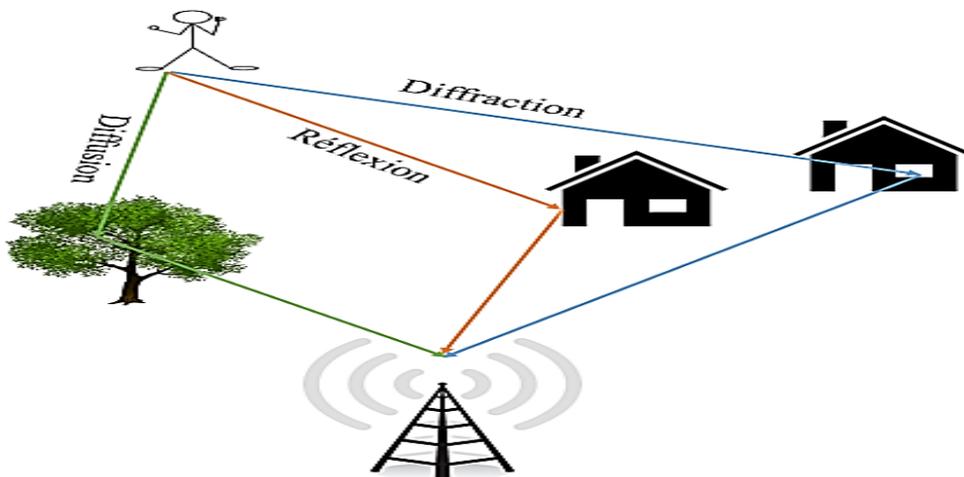


Figure I.8 : Type de propagation NLOS

I.5.2. D'un point de vue antenne

Pour les transmissions via des canaux radio, quatre types d'antennes sont utilisées : SISO, MISO, SIMO et MIMO.

I.5.2.1. SISO (Single Input Single Output)

Représente un système de communication sans fil dans lequel une seule antenne est utilisée pour transmettre et une autre pour recevoir ce qui rend SISO plus facile à déployer et à concevoir par rapport aux différents types d'antennes disponibles [21].

Le canal SISO est limité dans ses performances. Les interférences et les phénomènes d'évanouissements ont un impact plus important sur le canal, ainsi que sa bande passante qui est limitée par la loi de Shannon [21].

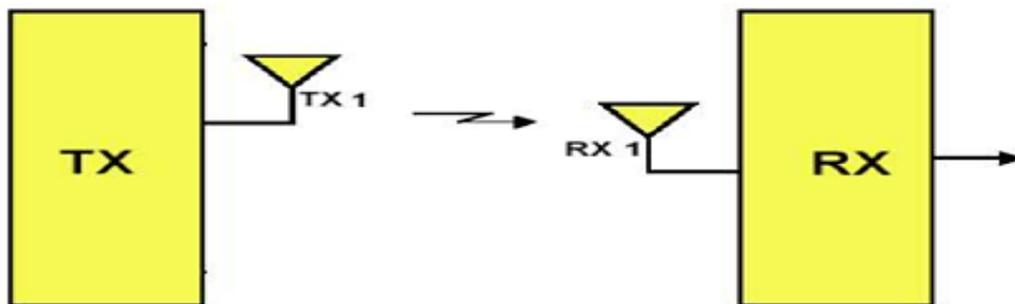


Figure I.9 : Système SISO [22]

La capacité du canal SISO est donnée par [23] :

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (\text{I.21})$$

Où :

P : La puissance du signal utile en Watt ;

N_0 : La densité spectrale de puissance du bruit calculé en W/Hz ;

W : La bande passante donnée en Hz.

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

$$C = \log_2 (1 + \rho) \quad (\text{I.22})$$

Avec : ρ est le rapport signal sur bruit.

I.5.2.2. MISO (Multiple Input Single Output)

Appelé aussi diversité de transmission, dans ce cas plusieurs antennes d'émissions sont utilisées avec une seule antenne de réception, ce qui signifie qu'il existe plusieurs sources mais qu'une seule destination est disponible [21].

L'avantage d'utiliser MISO est que les antennes multiples et le codage / traitement de redondance sont déplacés du récepteur vers l'émetteur. Dans des cas tels que les UE de téléphone portable, cela peut être un avantage significatif en termes d'espace pour les antennes, de réduction du niveau de traitement requis dans le récepteur pour le codage de redondance. Cela a un impact positif sur la taille, le coût et la durée de vie de la batterie, car le niveau de traitement inférieur nécessite moins de consommation de batterie [21].

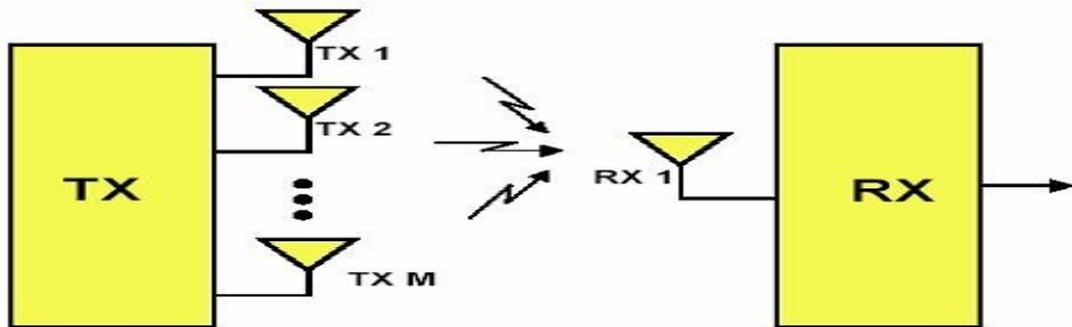


Figure I.10 : Système MISO [22]

La capacité du canal MISO est [23] :

Si la puissance P_i égale sur toutes les antennes, alors on dira que $P = N_t \times P_i$

$$C = W \log_2 \left(1 + N_t \frac{P_i}{N_0 W} \right) = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (\text{I.23})$$

Avec :

P_i : La puissance émise sur chaque antenne ;

N_t : Le nombre d'antennes.

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

$$C = \log_2 (1 + \rho) \quad (\text{I.24})$$

I.5.2.3. SIMO (Single Input Multiple Output)

C'est une technologie qui consiste à utiliser une seule antenne à l'émission et plusieurs à la réception pour fournir une diversité à cette dernière. Les mêmes informations sont reçues sur des canaux d'évanouissement indépendants afin de lutter contre les évanouissements [21].

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 d'évanouissement que le reste des copies, ainsi que, les chances de recevoir correctement les données transmises augmentent. En effet, cela améliore la fiabilité de l'ensemble du système et optimisera la vitesse des données [21].

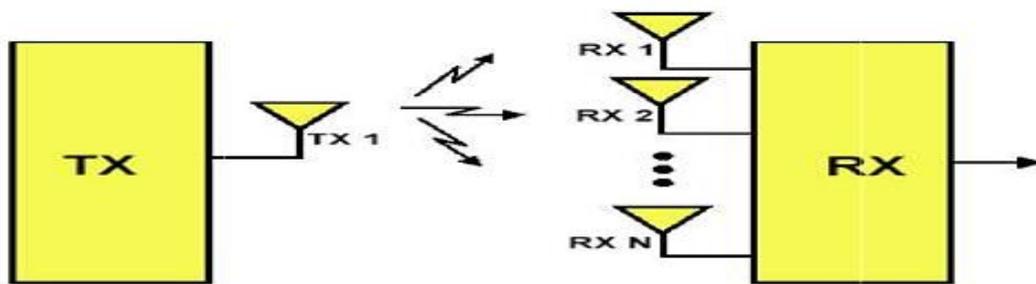


Figure I.11 : Système SIMO [22]

La capacité du canal SIMO est [23] :

$$C = W \log_2 \left(1 + N_r^2 \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (\text{I.25})$$

Où : N_r est le nombre d'antenne réceptrice.

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

$$C = \log_2 (1 + \rho) \quad (\text{I.26})$$

I.5.2.4. MIMO (Multiple Input Multiple Output)

C'est une technique utilisée principalement dans les réseaux sans fil et réseaux mobiles, elle permet le transfert des données avec un débit très élevé et une amélioration de la qualité du rapport signal sur bruit en utilisant des réseaux d'antennes d'émission et de réception [24].

Un canal peut être affecté par les évanouissements, ce qui aura un impact sur le taux d'erreur et le rapport signal sur bruit. Le principe de la diversité est de fournir au récepteur plusieurs versions du même signal. Supposons que ceux-ci soient affectés de différentes manières par le trajet du signal, la probabilité qu'ils soient tous affectés en même temps est considérablement réduite [24].

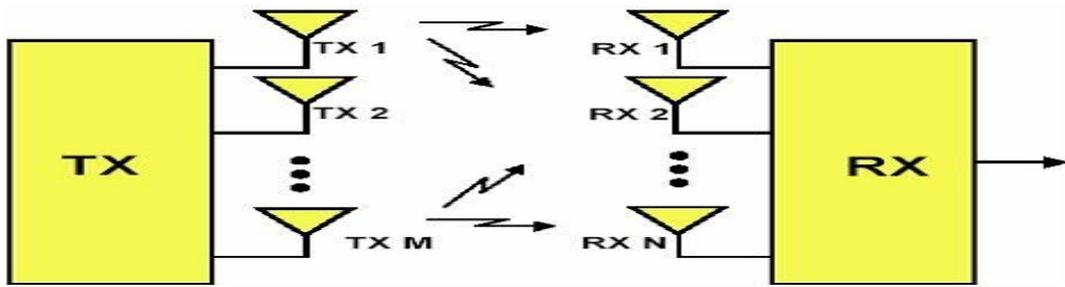


Figure I.12 : Système MIMO [22]

On considère un système MIMO composé de M_t antennes à l'émission et de N_r antennes à la réception. On note X le vecteur de taille N_t contenant les symboles envoyés et Y le vecteur contenant les N_r symboles reçus. La relation qui relie X et Y s'écrit alors [23] :

$$Y = HX + \eta \quad (I.27)$$

Où :

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

η : Le bruit.

La capacité du canal MIMO s'écrit alors [24] :

$$C = \log_2 \left(\det \left[I_{N_r} + \frac{\rho}{N_t} HH^* \right] \right) \quad (I.28)$$

Où :

I_{N_r} : La matrice identité ;

ρ : Le rapport signal sur bruit.

On distingue 03 catégories principales de MIMO [23] :

- **La diversité spatiale de MIMO** : Le même message est transmis simultanément sur plusieurs antennes à l'émission, les signaux reçus sur les différentes antennes de réception sont remis en phase et sommés de façon cohérente. L'antenne utilisée est celle qui reçoit le meilleur signal et les sous-canaux MIMO doivent être indépendants.
- **Le multiplexage spatial MIMO** : On découpe chaque message en sous messages en les transmettant simultanément sur les antennes d'émission, à la réception les signaux reçus sont réassemblés afin de retrouver le signal origine. Ce multiplexage permet d'accroître les débits de transmission sans augmenter la puissance d'émission.

- **MIMO-Beamforming** : Un réseau d'antenne MIMO est utilisé pour orienter et focaliser le faisceau d'onde radio sur une zone donnée. L'avantage est d'étendre la couverture radio et de limiter les interférences entre utilisateurs.

I.6. Beamforming

Appelé aussi filtrage spatial, l'ensemble des émetteurs sont dirigés par un logiciel permettant de focaliser le faisceau d'onde radio sur une zone donnée et s'annuler ailleurs pour que le signal soit reçu à l'emplacement où il est nécessaire à l'utilisateur. Le changement d'orientation du réseau d'émission se fait par le modeleur de faisceau en contrôlant l'amplitude et la phase du signal, créant ainsi un motif d'interférences constructives et destructives. À la réception, les différents signaux reçus par les capteurs sont combinés afin d'avoir l'information souhaitée. L'objectif est d'améliorer la stabilité et la puissance du signal émis, ainsi que réduire les interférences. Le beamforming peut être utilisé à l'émission ou à la réception afin d'avoir une sélectivité spatiale [25].

Son avantage principal est de permettre aux antennes relais de ne pas émettre en continu, mais seulement quand cela est nécessaire, donc un gain d'énergie considérable. C'est l'une des techniques qui ont contribué à l'amélioration des communications sans fil [25].

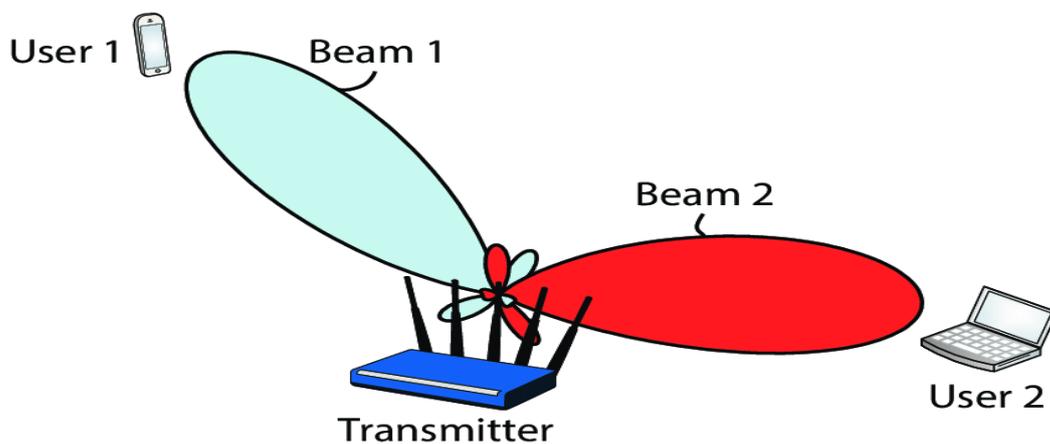


Figure I.13 : Concept du beamforming [25]

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre diverses choses, principalement sur les architectures physiques de LTE et 5G englobant plusieurs fonctions intéressantes, ainsi que sur les techniques d'accès, OFDMA qui a pour but de limiter les problèmes d'interférences et de fading et NOMA, d'améliorer les performances du réseau en terme d'efficacité spectrale en expliquant le principe de chacune, de plus, on a vu les techniques de transmission LOS, NLOS en terme de propagation des données d'une part et SISO, MISO, SIMO et MIMO en terme d'antennes d'une autre part, qui connaissent dernièrement une grande révolution et mis en valeur par rapport aux avantages qu'elles apportent. En dernier on a vu le principe du beamforming permettant une meilleure qualité d'émission et un transfert plus rapide avec moins d'erreurs.

CHAPITRE II

Bases de la 5G

Introduction

L'arrivée de la 5G va impacter différents secteurs d'activité afin de bénéficier de ses avancées technologiques, elle va proposer un monde parfaitement connecté. Pour cela, elle doit assurer une connectivité rapide avec une couverture étendue optimale, ainsi qu'une sécurité.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le déploiement de la 5G en se basant sur les réseaux hétérogènes (Small cells), qui visent à assurer une couverture en haut débit et sur les drones conçus pour assurer une qualité de service dans les réseaux denses. Ensuite, nous allons parler sur le modèle de propagation utilisé dans les réseaux 5G. Nous allons aborder aussi le modèle rapport signal sur bruit plus interférence SINR en présence du beamforming et sans sa présence, qui permet de mesurer la qualité des connexions sans fil. Nous terminons avec le canal 5G, en s'intéressant aux canaux m-Nakagami et Rice.

II.1. Déploiement 5G

Les nouveaux services de télécommunications entraînent une demande croissante de débit et induisent aux limites de capacités des réseaux actuels. Les opérateurs cellulaires déploient de nouvelles technologies et densifient leurs réseaux en ajoutant de petites cellules tout en exploitant la technologie des réseaux hétérogènes qui permet de répondre à cette demande [26].

L'utilisation des drones est un nouveau concept proposé qui a pour but d'assurer une meilleure qualité de service et suggérer de l'aide aux réseaux cellulaires ainsi qu'augmenter le débit.

II.1.1. Réseau hétérogène

Le réseau 5G vise à assurer une couverture en haut débit à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, pour cela une diminution de la distance entre les derniers points d'accès du réseau et les utilisateurs est proposée comme solution. Le grand nombre d'utilisateurs dans les macrocellules entraîne une diminution de la capacité par utilisateur. Afin de surmonter ce problème, des cellules de petites tailles sont créées dans les macrocellules, dont le déploiement des équipements de communications radio de la 5G se fera. Ces cellules sont nommées Small cells [27]. Des techniques avancées appliquées au Small cells sont apparues telles que les réseaux hétérogènes permettant la cohabitation de différents types de cellules dans le but de répondre aux exigences de la 5G [26].

On parle d'un réseau hétérogène lorsque le réseau RAN (Radio Access Network) est composé de différents types de stations de base tels que les macrocellules et différents types de

petites cellules Small cells. Cette technologie consiste à utiliser un mélange des cellules de tailles différentes (macro, micro, pico et/ou femto) afin d'augmenter la proximité entre les cellules et les terminaux mobiles. Elle est considérée comme une solution pour les réseaux 5G. Ce réseau est mis en œuvre en combinant une variété de petites cellules avec des niveaux de puissance différents sous la couverture d'une macrocellule dans le but de garantir un meilleur service en termes de qualité et d'efficacité énergétique [26].

De récents travaux sur le déploiement des Small cells considèrent les réseaux hétérogènes comme un moyen crucial face à la demande croissante de trafic de données [27]. On distingue trois types de Small cells [26] :

- **Femtocellules** : Cette catégorie de cellule permet d'émettre une puissance maximale de 24 dbm dans le but d'obtenir une couverture maximale de 100 m. Elles sont déployées afin d'assurer la couverture d'un nombre limité d'utilisateurs à l'intérieur des environnements résidentiels.
- **Picocellules** : Ce type de cellule est caractérisé par une puissance de transmission qui varie entre 24 et 30 dbm et un rayon de couverture qui varie entre 200 et 300 m. Elles sont déployées pour assurer et améliorer une couverture à l'intérieur ou à l'extérieur des hôtels ou entreprises.
- **Microcellules** : Dans ce genre de cellules, une couverture un peu plus large allant jusqu'à 2 km de rayon est obtenue, avec une puissance maximale d'émission de 40 dbm. Comme les deux autres Small cells, elle est utilisée afin d'assurer une couverture à l'intérieur ou à l'extérieur avec un nombre d'utilisateurs simultanés allant jusqu'à 2000.

Types de cellules	Puissance (W)	Rayon de couverture (km)	Nombre d'utilisateurs	Zone
Femtocellule	0.001 à 0.25	0.01 à 0.1	1 à 30	Intérieur
Picocellule	0.25 à 1	0.1 à 0.2	30 à 100	Intérieur/Extérieur
Microcellule	1 à 10	0.2 à 2	100 à 2000	Intérieur/Extérieur
Macrocellule	10 à >50	8 à 30	>2000	Extérieur

Tableau II.1 : Caractéristiques des cellules [26]

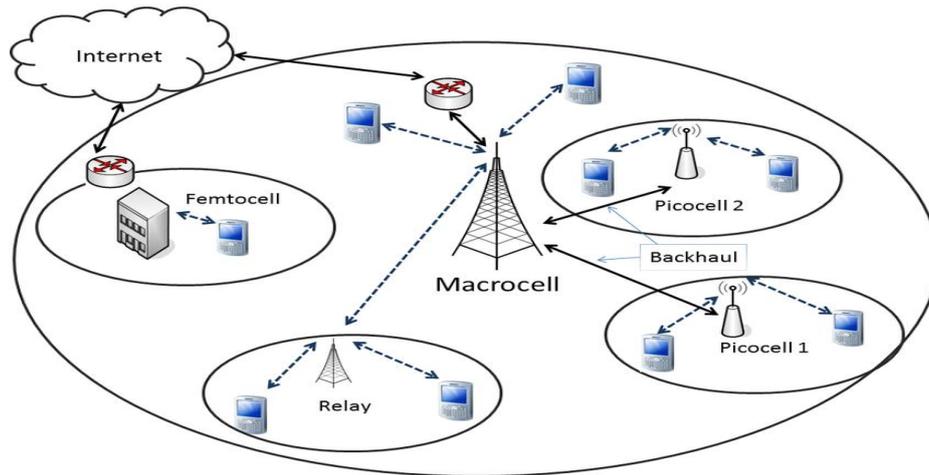


Figure II.1 : Réseau hétérogène [28]

II.1.2. Déploiement basé sur drones

L'utilisation des drones comme station de base dans les réseaux de nouvelle génération est apparue comme solution prometteuse pour assurer une qualité de service dans les réseaux denses. En effet, les drones ou couramment appelés UAV (Unmanned Aerial Vehicle) peuvent aider les réseaux cellulaires dans différents scénarios tels que les urgences, améliorer la congestion des stations de base et augmenter le débit lors des événements culturels et sportifs. Bien que les drones présentent plusieurs avantages, certaines difficultés techniques doivent être néanmoins surmontées à savoir, la hauteur optimale des drones, la limitation de l'énergie et l'analyse de la couverture [29].

II.2. Modèle de propagation 5G

Compte tenu des différentes lois de perte de trajet afin d'estimer le signal reçu, la liaison entre les SBS et les UE peut être une liaison en ligne de vue directe (LOS) ou indirecte (NLOS). Le signal mmWave transmis est soumis à plusieurs facteurs tels que les bâtiments, l'environnement météorologique et l'urbanisation, etc., ce qui rend le lien sensible aux effets de blocage qui se produisent lorsque le signal émis rencontre un obstacle [30].

Pour la plupart des scénarios urbains avec des immeubles de grandes hauteurs, nous supposons que le lien entre les SBS et l'UE a une longueur r . Mathématiquement, la probabilité LOS et NLOS peut être modélisée comme : $P_{LOS}(r) = e^{-\gamma r}$ et $P_{NLOS} = 1 - P_{LOS}(r)$ respectivement, où γ est le paramètre de blocage déterminé par la densité du bâtiment et la taille moyenne [30]. En utilisant le concept de boule de ligne, nous adoptons le modèle D-ball comme le montre la figure en dessous. En effet, une liaison SBS-UE est supposée être en LOS à l'intérieur la première boule avec la probabilité $P_1^{LOS}(r) = e^{\gamma_1 r}$, et le cas NLOS se produit avec la

probabilité $P_1^{NLOS}(r) = 1 - e^{-\gamma_1 r}$ [30]. Dans le modèle suivant, chaque segmentation de balle se distingue par son paramètre de blocage γ_n [30].

La probabilité LOS / NLOS est égale à $P_N^{LOS}(r) = e^{-\gamma_N r}$ et $P_N^{NLOS}(r) = 1 - e^{-\gamma_N r}$. La perte de chemin proposée, elle peut être exprimée comme suit [30] :

$$PL(r) = \begin{cases} \begin{cases} A_1^{LOS} r^{-\alpha_1^{LOS}} & \text{avec une probabilité } P_1^{LOS}(r) = e^{-\gamma_1 r} \\ A_1^{NLOS} r^{-\alpha_1^{NLOS}} & \text{avec une probabilité } P_1^{NLOS}(r) = 1 - e^{-\gamma_1 r} \end{cases} & r \in [0, R_1] \\ \begin{cases} A_2^{LOS} r^{-\alpha_2^{LOS}} & \text{avec une probabilité } P_2^{LOS}(r) = e^{-\gamma_2 r} \\ A_2^{NLOS} r^{-\alpha_2^{NLOS}} & \text{avec une probabilité } P_2^{NLOS}(r) = 1 - e^{-\gamma_2 r} \end{cases} & r \in [R_1, R_2] \\ \vdots & \vdots \\ \begin{cases} A_N^{LOS} r^{-\alpha_N^{LOS}} & \text{avec une probabilité } P_N^{LOS}(r) = e^{-\gamma_N r} \\ A_N^{NLOS} r^{-\alpha_N^{NLOS}} & \text{avec une probabilité } P_N^{NLOS}(r) = 1 - e^{-\gamma_N r} \end{cases} & r \in [R_{n-1}, R_n] \end{cases} \quad (II.1)$$

Où :

A_N^{LOS}, A_N^{NLOS} : Sont la perte de chemin des liaisons LOS et NLOS à une distance de référence $r = 1$;

$\alpha_N^{LOS}, \alpha_N^{NLOS}$: Sont les exposants de perte de chemin de LOS et NLOS pour la nième boule respectivement.

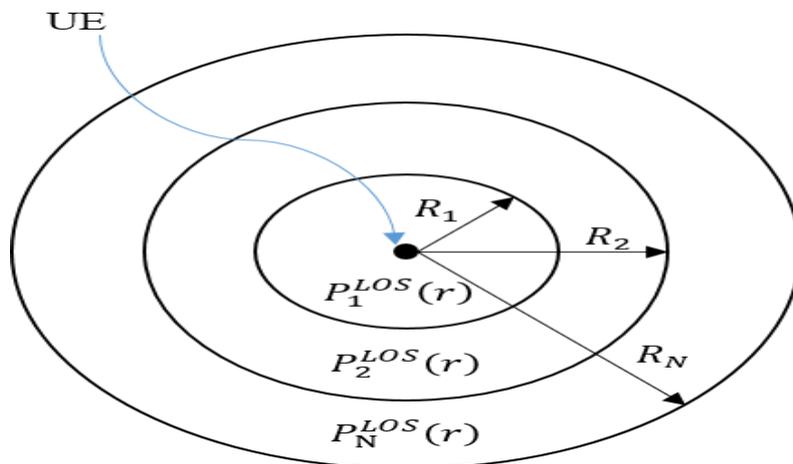


Figure II.2 : Modèle de perte de chemin [30]

II.3. Modèle rapport signal sur bruit plus interférence SINR

Appelé rapport signal sur bruit plus interférence, c'est une grandeur utilisée pour accorder des limites théoriques supérieures dans les systèmes de communication sans fil et mesurer la qualité des connexions sans fil. Le SINR est défini comme la puissance d'un certain signal d'intérêt divisée par la somme de la puissance d'interférence et de la puissance de certains bruits de fond. Si la puissance du terme bruit est nulle, alors le SINR se réduit au rapport signal sur interférence (SIR), si la puissance d'interférence est nulle, le SINR se réduit au rapport signal sur bruit SNR, qui n'est pas très utilisé lors du développement de modèles mathématiques de réseaux sans fil [31].

La complexité de certains types de réseaux sans fil (téléphonie cellulaire ou mobile) a amené à l'utilisation des modèles de géométrie stochastique afin de modéliser le SINR. Il est défini pour un récepteur particulier situé à un certain point x dans l'espace (généralement sur le plan), son SINR est donné par [32] :

$$SINR = \frac{P}{I+N} \quad (II.2)$$

Où :

P : La puissance du signal entrant d'intérêt ;

I : La puissance d'interférence des autres signaux (interférents) dans le réseau ;

N : Un certain terme de bruit, qui peut être une constante ou aléatoire.

Il est souvent exprimé en décibel ou dB. Pour développer un modèle mathématique afin d'estimer le SINR et représenter la propagation du signal entrant et des signaux brouilleurs, une approche de modèle courant consiste à supposer que le modèle de propagation se compose d'une composante aléatoire et d'une composante non aléatoire (ou déterministe). La composante déterministe cherche à capturer comment un signal s'atténue lorsqu'il parcourt un milieu tel que l'air, en introduisant une fonction de perte de trajet ou d'atténuation. La fonction de perte de chemin est donnée [32] :

$$PL = d^{-\alpha} \quad (II.3)$$

Où l'exposant de perte de chemin $\alpha > 2$ et d désigne la distance entre la station de base et un utilisateur typique situé dans le rayon de couverture.

II.3.1. Sans beamforming

Le rapport signal sur bruit plus interférence dans le cas où le beamforming n'est pas utilisé est décrit par la puissance du signal P_{MBS} au niveau de la MBS multiplié par le gain du canal h ainsi que la fonction de perte de chemin PL , divisé par la somme de l'ensemble des interférences au niveau de la MBS et SBS et un certain bruit N_0 , il est défini par [33] :

$$SINR = \frac{P_{MBS} \times h \times d^{-\alpha}}{I_{MBS} + I_{SBS} + N_0} \quad (II.4)$$

II.3.2. Avec beamforming

La différence en présence du beamforming où le faisceau d'onde est focalisé sur une zone précise est l'ajout du gain du beamforming $G(\theta, \delta)$, il est donc défini par [33] :

$$SINR = \frac{P_{MBS} \times G(\theta, \delta) \times h \times d^{-\alpha}}{I_{MBS} + I_{SBS} + N_0} \quad (II.5)$$

II.4. Canal 5G

Plusieurs modèles de canaux peuvent être utilisés pour décrire le comportement statistique de l'amplitude du signal d'évanouissement par trajets multiples, y compris le modèle de canal m-Nakagami et le modèle de canal Rice. Ces deux modèles décrivent la fonction probable du signal pour renforcer une distribution au point de réception, le canal m-Nakagami couvre divers modèles d'évanouissements par trajets multiples grâce à l'introduction du paramètre m , tandis que le canal Rice est conçu pour le trajet de ligne de vue directe [34].

II.4.1. Le modèle de canal m-Nakagami

Le modèle de canal m-Nakagami (m est défini comme un facteur d'évanouissement de Nakagami) est couramment utilisé pour les évanouissements modélisés par multi-trajets. Il s'agit d'un modèle d'évanouissement général qui peut être adapté aux différents modèles de canaux et permettant de fournir des résultats plus précis pour décrire le canal lors de l'utilisation des systèmes de communication [35].

La distribution m-Nakagami fait partie des distributions qui représentent l'évanouissement dans un canal de communication sans fil [34]. C'est une distribution de probabilité qui conçoit généralement des évanouissements à petite échelle (un phénomène qui affecte le signal transmis pendant un petit intervalle de temps [36]) pour envoyer des signaux denses [37]. La loi de distribution m-Nakagami est une loi de distribution de probabilité qui utilise les deux

paramètres m et Ω . Sa fonction de densité de probabilité de l'amplitude α par symbole est définie par [36] :

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{2m^m \alpha^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left[-\frac{m\alpha^2}{\Omega}\right] \quad \text{avec } \alpha \geq 0 \quad (\text{II.6})$$

Où :

$\Gamma(m)$: La fonction Gamma ;

Ω : La valeur quadratique moyenne ;

m : Le paramètre d'évanouissement prend une valeur comprise entre $\frac{1}{2}$ et $+\infty$, il est défini par [35] :

$$m = \frac{\Omega^2}{E[(\alpha^2 - \Omega^2)^2]} \quad (\text{II.7})$$

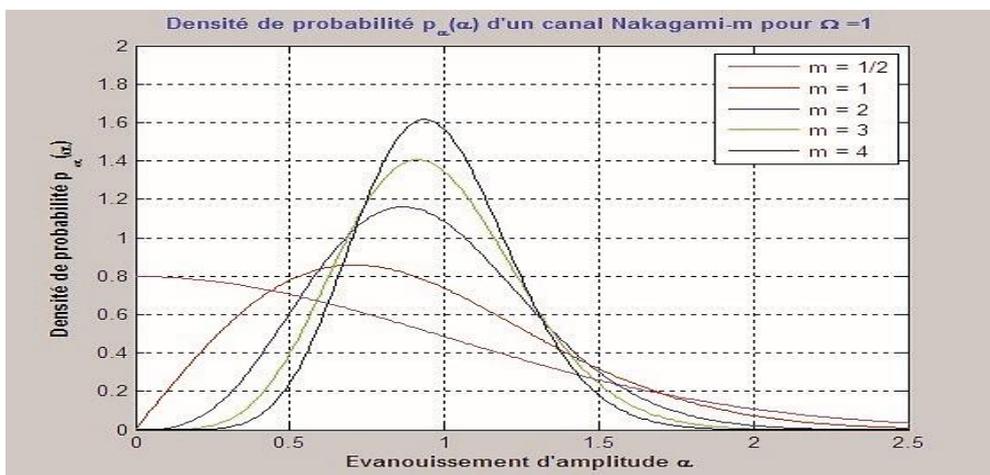


Figure II.3 : Densité de probabilité du canal m-Nakagami [35]

II.4.2. Le modèle de canal Rice

La distribution de Rice est parfois aussi appelée distribution Nakagami- n ou Nakagami-Rice, elle est fréquemment utilisée pour la modélisation de canal avec un chemin direct (LOS). Le canal sera composé d'une ligne de visée fixe entre l'émetteur et le récepteur, ainsi que de nombreux composants aléatoires très faibles [38]. Sa fonction de densité de probabilité est définie par [37] :

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{2(1+n^2)e^{-n^2}}{\Omega} \exp\left[-\frac{(1+n^2)\alpha^2}{\Omega}\right] I_0\left(2n\alpha\sqrt{\frac{1+n^2}{\Omega}}\right), \quad \text{avec } \alpha \geq 0 \quad (\text{II.8})$$

Où :

I_0 : La fonction de Bessel modifiée d'ordre 0 ;

n : Le paramètre d'évanouissement de Nakagami- n qui prend une valeur comprise entre 0 et $+\infty$.

n^2 : Le paramètre de Rice également noté K , il correspond au rapport entre la puissance de la composante du trajet direct x_d (LOS) avec la puissance de la composante des trajets multiples $2\sigma^2$ (NLOS), est défini par [37] :

$$K = n^2 = \frac{x_d^2}{2\sigma^2} \quad (\text{II.9})$$

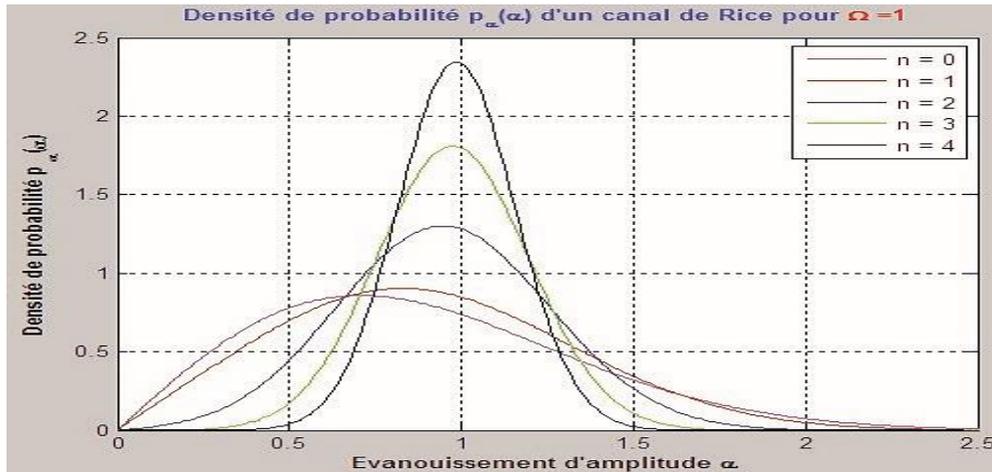


Figure II.4 : Densité de probabilité du canal Rice [35]

Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le déploiement de 5G basé sur les réseaux hétérogènes et sur les drones en expliquant le principe et le fonctionnement de chacun, ainsi que le modèle de propagation D-ball utilisé dans les réseaux 5G, de plus, on a abordé le modèle rapport signal sur bruit plus interférence SINR permettant la mesure de la qualité des communications sans fil avec et sans beamforming. En dernier on a vu deux modèles de canaux m -Nakagami et Rice qui décrivent la fonction probable du signal afin de renforcer la distribution au point de réception.

CHAPITRE III

Stochastique géométrie et modèle mathématique

Introduction

La délicatesse et la complexité de certains types de réseaux sans fil ont amené à l'utilisation de la géométrie stochastique qui est un moyen puissant pour l'étude et l'analyse des réseaux cellulaires 5G en termes de performances et de couverture en exploitant certains processus intéressants.

Dans ce troisième chapitre, nous allons définir la géométrie stochastique qui joue un rôle important dans la modélisation des réseaux sans fil, ensuite nous allons nous intéresser au processus de poisson en expliquant quelques travaux déjà réalisés, ainsi que ses deux modèles, le Matern Cluster Process et le Thomas Cluster Process. Nous allons expliquer le modèle mathématique de notre cas en abordant la topologie du réseau et les interférences. Nous terminons avec la probabilité de couverture en passant par la probabilité d'association des utilisateurs et en intégrant en dernier la coordination d'interférences à la probabilité de couverture.

III.1. Définition de la géométrie stochastique

La géométrie stochastique est une branche des mathématiques qui traite des modèles spatiaux aléatoires (par exemple courbes, surfaces, corps) essentiellement dans les espaces euclidiens, formée principalement de deux concepts, les ensembles aléatoires et les mesures aléatoires. Elle est considérée comme l'héritière de la probabilité stochastique qui est passée du comptage des événements aléatoires à leur mesure avec l'arrivée de la géométrie stochastique [39].

Afin de modéliser et d'évaluer les performances des communications cellulaires sans fil, principalement de la 5G, des réseaux hétérogènes (5G HetNet) tel que la couverture, la panne et la probabilité de débit, la géométrie stochastique est proposée comme solution efficace et précise qui permettra d'obtenir des estimations et des limites puissantes et générales des performances du réseau sans fil et de faire de bons choix de conception pour les futures architectures et protocoles sans fil qui gèrent efficacement les effets d'interférences, par exemple, si un opérateur mobile veut dimensionner son réseau cellulaire, il peut employer un simulateur à grande échelle ou établir un modèle théorique basé sur des hypothèses simples qui lui permettent le calcul analytique de certaines grandeurs utiles comme la probabilité de couverture [3].

III.2. Processus de Poisson

Un processus de Poisson est un modèle pour une série d'événements discrets où le temps moyen entre les événements est connu, mais le moment exact des événements est aléatoire. L'arrivée d'un événement est indépendante de l'événement précédent. Le processus de Poisson est l'un des processus de comptage les plus adoptés. Il est généralement utilisé dans des scénarios pour modéliser les occurrences de certains événements pouvant survenir à tout instant avec une probabilité constante et indépendamment des occurrences passées, notamment, la localisation des utilisateurs dans un réseau sans fil [40].

La fonction de masse de probabilité de la distribution de Poisson donne la probabilité d'observer k événements dans un intervalle de temps, elle est donnée par [40] :

$$p(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad (\text{III.1})$$

Où :

λ : Le nombre moyen d'occurrences en unité de temps ;

X : Nombre d'occurrences durant une unité de temps ;

K : Entier.

Lorsque nous modifions le paramètre λ , nous modifions la probabilité de voir différents nombres d'événements dans un intervalle. Le graphique ci-dessous est la fonction de masse de probabilité de la distribution de Poisson montrant la probabilité d'un certain nombre d'événements qui se produisent dans un intervalle avec différents paramètres λ [40] :

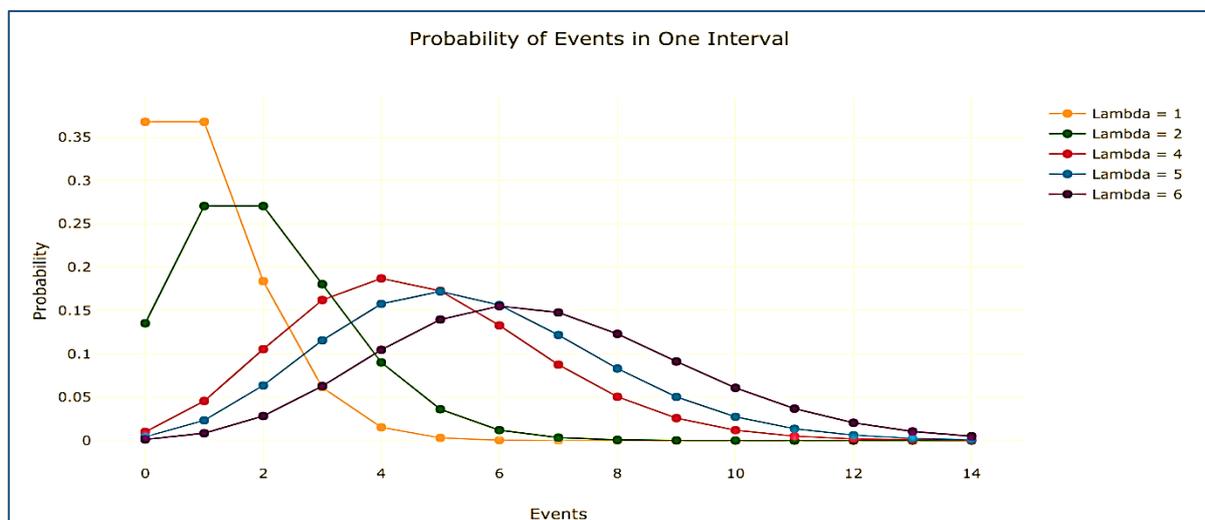


Figure III.1 : Fonction de masse de probabilité pour la distribution de poisson [40]

III.2.1. Travaux déjà réalisés

L'optimisation de la couverture du réseau cellulaire est l'un des principaux problèmes du réseau hétérogène 5G. L'objectif fondamental est de fournir de bonnes performances et la qualité de service (QoS) souhaitée. Actuellement, les petites cellules sont utilisées pour satisfaire la couverture et augmenter la capacité du réseau. Cependant, selon le projet de partenariat de troisième génération (3GPP), le réseau hétérogène est divisé en deux catégories, les stations de base macro (MBS) et les petites stations de base (SBS) [41]. Dans cette nouvelle architecture proposée, la gestion des interférences entre les niveaux représente un défi majeur. En effet, la performance de la couverture est étroitement liée à la coordination des interférences et sera dégradée si les interférences ne sont pas gérées [42]. Plusieurs travaux ont été menés pour analyser la couverture avec et sans gestion des interférences. Dans la référence [43], les auteurs examinent l'atténuation des interférences dans les femto cellules en utilisant la radio cognitive et présentent une étude complète de l'atténuation des interférences par différence. De plus, les performances de couverture en liaison descendante d'un réseau cellulaire à ondes millimétriques avec alignement imparfait des faisceaux sont étudiées dans [44]. Les auteurs utilisent la géométrie stochastique pour modéliser la probabilité de couverture. Un modèle analytique pour évaluer la performance du réseau à ondes millimétriques en utilisant le cadre de la géométrie stochastique est introduit dans la référence [45], les auteurs donnent une caractérisation stochastique telle que la couverture et la probabilité de taux sur un modèle de blocage, c'est-à-dire dans un environnement LOS et NLOS. Plus récemment dans [46], les auteurs ont modélisé et analysé les performances de couverture pour les macrocellules et les petites cellules sur des canaux généraux à évanouissement de Nakagami. À cette fin, la coordination cognitive des interférences est prise en compte. En se basant sur la géométrie stochastique, les auteurs dans la référence [46] analysent la performance de l'interruption de la liaison descendante du C-HetNet dans un environnement multicanal. L'objectif de notre travail, est d'analyser la couverture d'un réseau 5G hétérogène en utilisant les deux formes de distribution à savoir le Matern Cluster Process et le Thomas Cluster Process. Le canal de Rice est utilisé dans notre cas ainsi que la coordination d'interférence entre les deux niveaux.

III.2.2. Modèles du processus Poisson

Il existe deux types de modèles de processus de Poisson, le processus de cluster Matern et le processus de cluster Thomas. Les deux processus sont similaires, avec une répartition de points différente.

III.2.2.1. Matern Cluster Process

Le processus de cluster Matern est un type de processus de regroupement de points, ce qui signifie que les points distribués aléatoirement sont destinés à former des ensembles aléatoires. Tout d'abord, pour exécuter ce processus, il est nécessaire d'utiliser un processus ponctuel de Poisson uniforme avec une intensité $\lambda > 0$ dans la fenêtre de simulation. Ensuite, pour chaque point de ce processus de point sous-jacent, un certain nombre de points de Poisson de moyenne $\mu > 0$ est uniformément simulé sur un disque de rayon fixe $r > 0$. Le processus de point de base (appelé aussi processus parent) et ses points sont les centres des disques du cluster et les processus qui suivent chaque disque sont appelés processus fille qui forment les clusters [47].

Le principal challenge de l'échantillonnage de processus de cluster Matern est que les points filles peuvent apparaître dans la fenêtre de simulation et provenir à partir des points d'origine (parents) à l'extérieur de cette fenêtre, c'est-à-dire que les points parents externes contribuent aux points filles à l'intérieur de la fenêtre. Afin d'éliminer ces effets secondaires, il est nécessaire de simuler ce type de processus dans une version étendue de la fenêtre de simulation. Après cela, seuls les points filles de la fenêtre de simulation sont conservés et les autres sont supprimés [47].

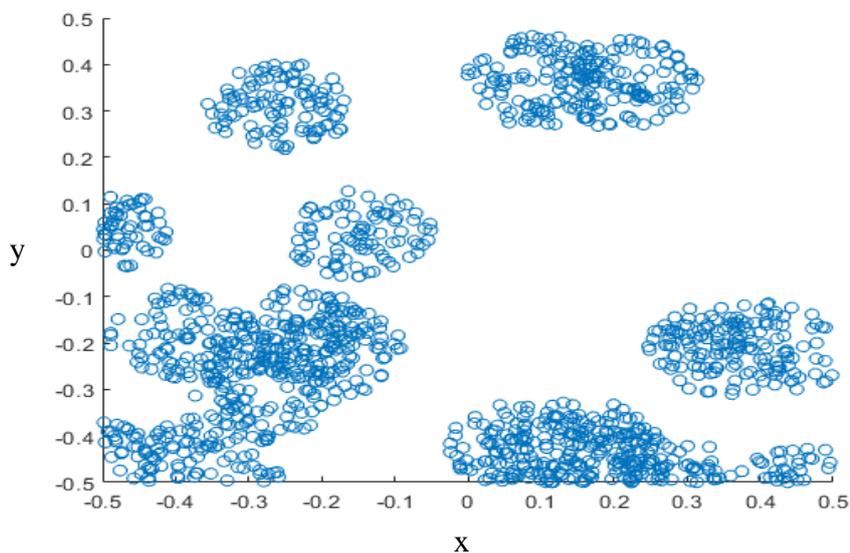


Figure III.2 : Exécution de processus de Cluster Matern sur Matlab [47]

III.2.2.2. Thomas Cluster Process

Le processus de cluster Thomas est un processus de points de cluster, qui est très similaire au processus ponctuel de Matern, la différence entre ces deux opérations est la répartition aléatoire des points. Dans chaque groupe du processus de points de Thomas, les points individuels sont organisés selon deux variables normales indépendantes avec une variance

moyenne nulle σ^2 . La simulation d'un processus ponctuel de cluster de Thomas nécessite de simuler un processus ponctuel de Poisson homogène avec une intensité $\lambda > 0$ sur une fenêtre de simulation, Ensuite, de simuler plusieurs points de Poisson avec une valeur moyenne $\mu > 0$ pour chaque point de ce processus ponctuel sous-jacent [48].

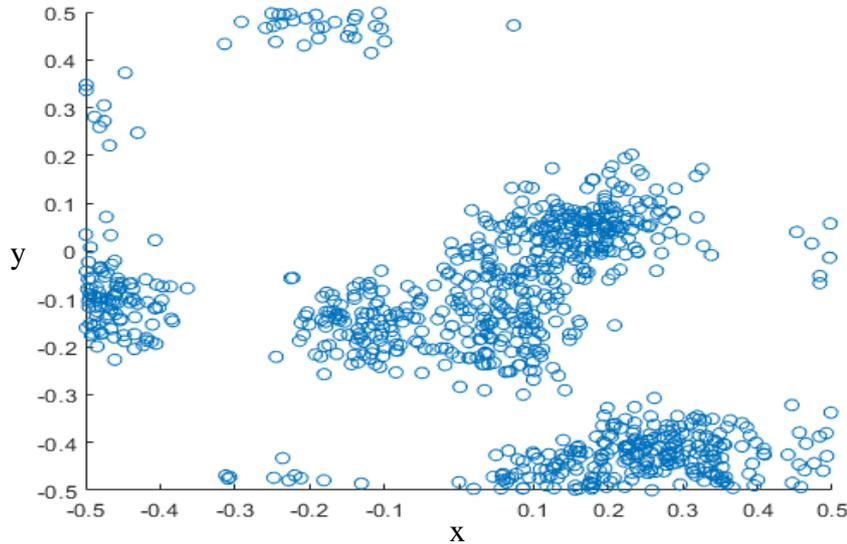


Figure III.3 : Exécution de processus de Cluster Thomas sur Matlab [48]

III.3. Modèle mathématique de notre cas

Dans cette partie nous introduisons le modèle mathématique du Poisson Cluster Process utilisé pour le calcul de la probabilité de couverture. Cependant, la première topologie employée est une topologie dont les utilisateurs sont uniformément répartis sur le réseau. Leurs emplacements sont indépendants de celui des stations de base. Dans le deuxième cas, les utilisateurs sont regroupés au tour de la station de base formant ainsi un cluster.

III.3.1. Topologie du réseau

Comme illustré dans la figure ci-dessous. Considérant un réseau HetNet en liaison descendante comprenant des stations de base macro (MBS) et de petites stations de base (SBS). Nous supposons que les MBS sont distribuées spatialement et modélisées comme un PPP noté ϕ_{MB} avec une intensité λ_{MB} . Pour les SBS distribués dans la zone, ils peuvent être distribués comme un PCP avec un processus de points parents, c'est-à-dire que les emplacements sont supposés être des PPP, dénotés par ϕ_S avec une intensité λ_S . Nous supposons également que tous les équipements utilisateurs (UE) sont distribués selon le PPP, noté avec ϕ_{UE} l'intensité.

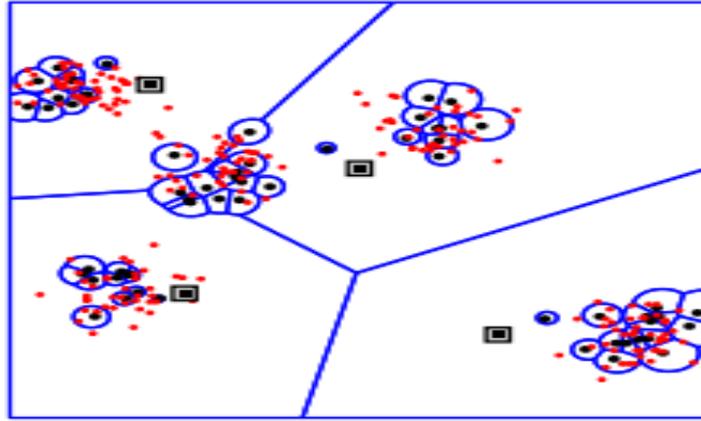


Figure III.4 : Topologie du réseau utilisé

- Les points rouges : les utilisateurs ;
- Les points noirs : les petites stations de base SBS ;
- Les carrés noirs : les stations de base macro MBS ;
- Les cercles bleus : les clusters suivant les SBS ;
- Les séparations en bleu : les clusters suivant les MBS.

III.3.2. Interférences

Dans un réseau cellulaire, les interférences au niveau des utilisateurs peuvent être issues des stations de base adjacentes du même niveau c'est-à-dire des Small stations de base, ou bien des stations de base adjacentes issues d'un autre niveau dans l'architecture hétérogène. Les interférences sont introduites durant le calcul du SINR. Mathématiquement, les interférences sont données par les formules [49] :

$$I = I_M + I_m \quad (\text{III.1})$$

$$I_M = \sum_{M \in \Phi_M, M \neq MB} P_M h_M D_M^{-\alpha} \quad (\text{III.2})$$

$$I_m = \sum_{m \in \Phi_s, m \neq s} P_m h_m D_m^{-\alpha} \quad (\text{III.3})$$

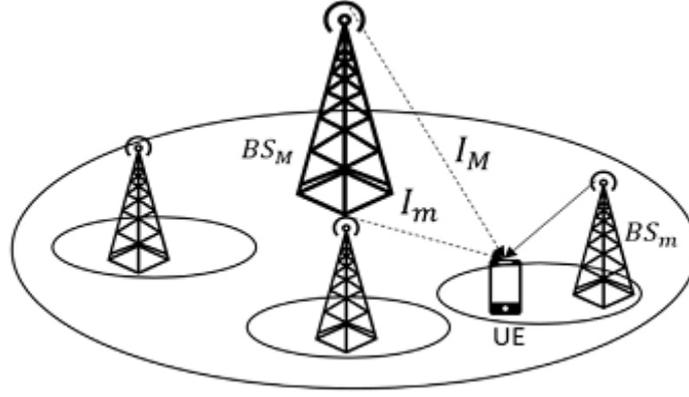


Figure III.5 : Interférences au niveau d'un utilisateur

III.4. Probabilité d'association des utilisateurs

La probabilité d'association désigne l'attachement d'un utilisateur avec une station de base. Plusieurs critères peuvent être définis comme le critère d'association de cellules basé sur la perte de chemin minimale, l'association avec la station de base qui offre une puissance reçue considérable ou bien en termes de distance. Nous définissons la probabilité d'association au $i^{\text{ème}}$ niveau comme \mathcal{A}_{UE} . La probabilité d'association est dérivée comme suit [49] :

$$\mathcal{A}_{k,LOS} = P(P_{MB} h_{MB} D^{-\alpha} > P_M h_M D^{-\alpha}) \quad (\text{III.4})$$

$$\mathcal{A}_{UE,MBS} = 2\pi\lambda_{MB} \int_0^\infty D \exp\left(-\pi \sum_{j \in \phi_k} \lambda_j \left(\frac{P_M h_M}{P_{MB} h_{MB}}\right)^{\frac{2}{\alpha}} D^{\frac{2\alpha MB}{\alpha M}} - \pi\lambda_{MB} D^2\right) dD \quad (\text{III.5})$$

$$\mathcal{A}_{UE,SBS} = 2\pi\lambda_S \int_0^\infty D \exp\left(-\pi \sum_{j \in \phi_k} \lambda_j \left(\frac{P_m h_m}{P_s h_s}\right)^{\frac{2}{\alpha}} D^{\frac{2\alpha^2}{\alpha m}} - \pi\lambda_S D^2\right) dD \quad (\text{III.6})$$

La puissance reçue ne dépend pas uniquement du type de canal et de la distance séparant la station de base et l'utilisateur. Elle dépend aussi du nombre d'antennes, type d'antenne et les orientations antennaires à savoir le tilt et l'azimut. Dans notre cas l'antenne employée est une antenne omnidirectionnelle.

III.5. Rapport signal sur bruit plus interférences (SINR)

Le SINR est un paramètre clé dans les réseaux cellulaires et en particulier dans les réseaux de 5G. En d'autre terme, Le SINR est également une mesure de la qualité du signal, mais il n'est pas défini dans les spécifications du 3GPP, mais par le fournisseur de l'UE. Il est introduit par la suite dans le calcul de la probabilité de couverture. En 5G comme dans tout système sans fil, les performances ont une relation directe avec les conditions radio fréquence à savoir la

propagation et le canal utilisé. Dans cette section, nous proposons un modèle de canal régi par l'évanouissement de Rice. Nous supposons que toutes les stations de base de même niveau ont la même puissance de transmission. Le rapport SINR est donné par l'équation suivante [46] :

$$SINR = \frac{P_k h_k D_k^{-\alpha}}{I + N_0} \quad (\text{III.7})$$

Avec P_k est la puissance de transmission de la station de base $k \in [MB, S]$. h_k est le gain de canal et $D_k^{-\alpha}$ est la perte de trajet du signal calculé par le coefficient Path loss $\alpha = 4$ ou 2 .

III.6. Probabilité de couverture

Comme définie précédemment, un utilisateur typique est couvert par la station de base qui offre la meilleure puissance. Dans cette section, nous introduisons la probabilité de couverture de chaque utilisateur. La performance de la couverture est analysée en se concentrant sur le calcul de la probabilité du SINR pour un UE situé à une distance d d'une station de base. Il est défini comme la probabilité que le SINR reçu par l'UE soit supérieur à un certain seuil [50].

$$P_c^{MB,S}(T) = P(SINR > T) \quad (\text{III.8})$$

Avec T est le seuil du SINR qu'il ne faut pas dépasser.

La probabilité de couverture peut être calculée dans deux cas différents. Le premier cas quand il n'y a pas de coordination d'interférences et le 2^{ème} cas avec coordination d'interférences. La probabilité de couverture totale est donnée par :

$$P_c^t = P_c^{MB}(T) \mathcal{A}_{UE,MBS} + P_c^S(T) \mathcal{A}_{UE,SBS} \quad (\text{III.9})$$

III.6.1. Sans coordination d'interférences

La probabilité de couverture d'un utilisateur associé à une macro station de base est donnée par la formule mathématique suivante [46] :

$$p_c^{MB} = 2\pi\lambda_{MB} \int_0^\infty D \exp\left(-\pi\lambda_{MB}D^2 - \left(\frac{T\sigma^2}{P_{MB}D^{-\alpha}}\right) \mathcal{L}_{I \setminus d}\left(\frac{TD^{-\alpha}}{P_M}\right)\right) \quad (\text{III.10})$$

Dans le cas où l'utilisateur est associé à une Small station de base, la probabilité est calculée par [46] :

$$p_c^S = 2\pi\lambda_S \int_0^\infty D \exp\left(-\pi\lambda_S D^2 - \left(\frac{T\sigma^2}{P_S D^{-\alpha}}\right) \mathcal{L}_{I \setminus d}\left(\frac{TD^{-\alpha}}{P_m}\right)\right) \quad (\text{III.11})$$

$\mathcal{L}_{I \setminus d}$: Représente-la transformée de Laplace des interférences au niveau utilisateur provenant des stations de base adjacente.

III.6.2. Avec coordination d'interférences

Bien qu'il soit difficile de contrôler les interférences dans le réseau HetNet 5G, il existe plusieurs techniques de coordination des interférences dont l'objectif est d'améliorer la couverture. L'approche incorporée dans notre modèle est basée sur la coordination cognitive des interférences par accès opportuniste [46]. Cependant, les MBS sont capables d'allouer de manière opportuniste les ressources blocs (RB) de fréquences temporaires pour les SBS, ce qui entraîne un fonctionnement orthogonal entre les niveaux et aucune interférence entre les niveaux n'est observé. Le SINR reçu par les utilisateurs en provenance des SBS peut être exprimé comme suit [46] :

$$SINR = \frac{P_k h_k D_k^{-\alpha}}{N_0} \quad (\text{III.12})$$

Le résultat de la probabilité de couverture dans ce cas de figure est donné par :

$$P_c^k = 2\pi\lambda_k \int_0^\infty D \exp\left(-\pi\lambda_k D^2 \left(\frac{TN_0}{P_k D^{-\alpha}}\right)\right) dD \quad (\text{III.13})$$

Avec λ_k est l'intensité des stations de base $k \in [MB, S]$.

Conclusion :

La géométrie stochastique très connue pour la modélisation et l'évaluation des performances des communications cellulaires sans fil. Elle est considérée comme étant la solution adéquate pour l'obtention des estimations et des limites puissantes des performances.

Ce chapitre nous a permis de comprendre l'importance de la géométrie stochastique dans les communications sans fil permettant de faire de bons choix de conception dans ce domaine. On s'est principalement basé sur le processus de poisson qui est très adopté pour la modélisation d'une série d'évènements discrets, incluant deux modèles le Matern Process et le Thomas Process. On a présenté notre modèle mathématique ainsi que sa topologie ayant comme but le calcul la probabilité de couverture de notre réseau avec et sans coordination d'interférence en passant par le calcul de la probabilité d'association de nos utilisateurs.

CHAPITRE IV

Simulations et interprétations des résultats

Introduction

L'hétérogénéité est au cœur des réseaux 4G actuels et des réseaux 5G à venir. L'une des principales conséquences de ces déploiements hétérogènes est l'émergence de différents types de réseaux spatiaux, qui nécessitent une analyse continue de leurs paramètres afin de satisfaire les utilisateurs en terme de qualité de service. Cependant, la stochastique géométrie est un outil mathématique intéressant pour l'analyse des réseaux cellulaires 5G en termes de couverture, de blocage et de débit. Après avoir développé nos équations de la probabilité d'association et de couverture, dans ce chapitre nous allons discuter des différents résultats de simulation obtenus. En premier lieu, nous étudions la variation de la couverture dans les deux cas du cluster Process à savoir le MCP et le TCP. Ensuite, nous analysons la probabilité de couverture dans le cas de la coordination d'interférence pour avoir une comparaison concrète de nos résultats, nous terminons avec les effets de blocages sur les réseaux 5G et leur influence sur la couverture.

IV.1. Paramètres et environnement de simulation

Dans cette section, nous validons notre modèle mathématique, et l'expression de la probabilité de couverture sera vérifiée. La densité MBS est $\lambda_M = 10^{-3}/m^2$ tandis que la densité SBS est $\lambda_m = 4 \times 10^{-3}/m^2$. Nous considérons les puissances de transmission de MBS et SBS au départ de $P_{MB} = 50 \text{ watt}$, $P_S = 23 \text{ dBm}$. Les autres paramètres de simulation sont donnés dans le Tableau IV.1.

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>
r	20, 40, 60
α_N	4
N_0	-104 dBm
T	-20: 5: 20

Tableau IV.1 : Paramètres de simulations

IV.2. Analyse de la couverture

L'objectif du travail est d'analyser la couverture dans les deux cas de la distribution MCP et TCP. Nous évaluons maintenant numériquement les expressions de la probabilité de couverture en variant la taille du cluster des utilisateurs. La Figure IV.1 illustre la variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en variant le rayon du cluster. Nous observons

que la taille du cluster a un effet sur la variation de la probabilité totale. En effet, plus le rayon de cluster augmente, la probabilité de couverture augmente. Notant que la puissance de transmission est fixée à 50 watt.

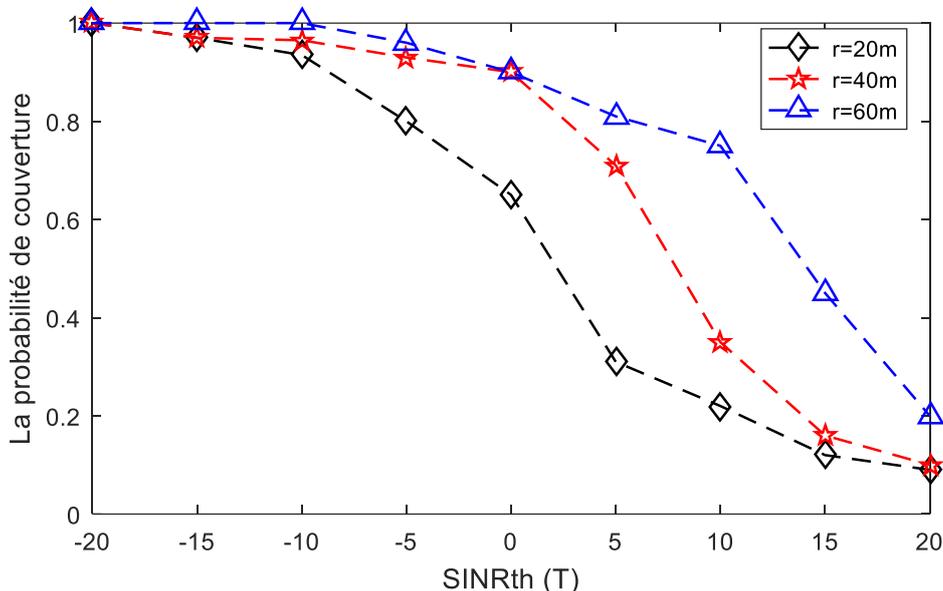


Figure IV.1 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en variant le rayon du cluster dans le cas du MCP

Cette croissance peut être expliquée comme suit, lorsque la taille du cluster augmente, les stations de base sont en moyenne plus proches de l'utilisateur typique. Ce phénomène est la conséquence du couplage spatial entre les stations de base et les utilisateurs.

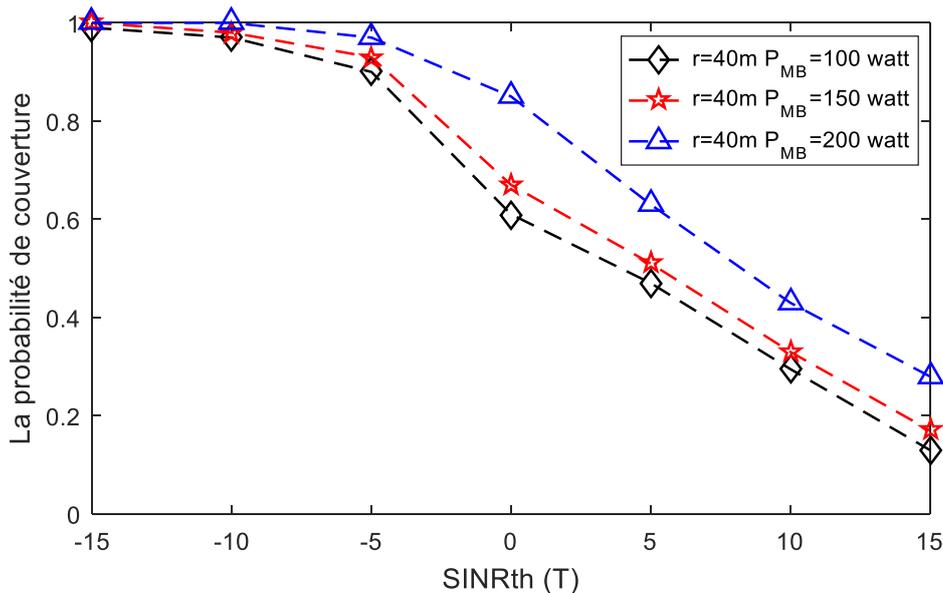


Figure IV.2 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en fixant le rayon du cluster et variant la puissance de transmission de la MBS

Il est bien évident que les puissances de transmission peuvent aussi avoir une influence sur la probabilité de couverture. Dans notre étude, nous avons analysé aussi la probabilité de couverture dans le cas où le rayon de cluster est fixe, par contre les puissances de transmission des MBS varient. D'après la figure ci-dessus, on constate que la probabilité de couverture augmente en augmentant la puissance de transmission. Mais cette augmentation n'est pas parfaite en terme de probabilité si l'on compare à la Figure IV.1. Cela peut être commenté par l'augmentation des interférences intercellulaires.

▪ **Cas du TCP :**

Le second cas d'analyse porte sur l'évaluation de la probabilité de couverture en fonction des rayons de cluster, sauf que dans ce cas les utilisateurs sont distribués suivant le Thomas Cluster Process. Dans cette situation, on remarque aussi que la probabilité de couverture est presque similaire à celle du MCP avec une modification dans la probabilité de couverture. En effet, la probabilité de couverture augmente en augmentant le rayon de cluster. Néanmoins, comparant au MCP la distribution des SBS, MBS ainsi que les utilisateurs suivant le processus TCP reste la plus efficace pour représenter un réseau.

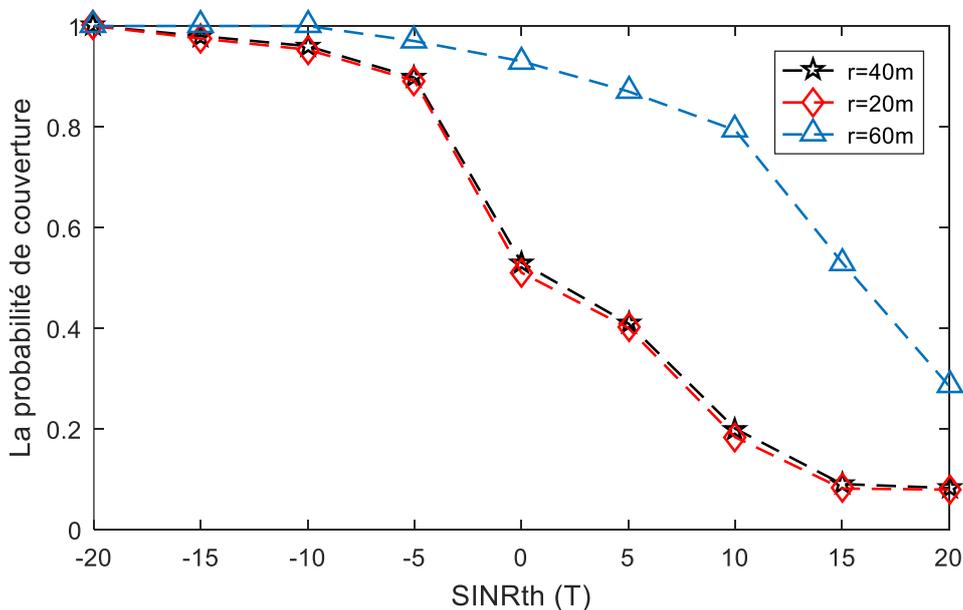


Figure IV.3 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en variant le rayon du cluster dans le cas du TCP

D'autre part, la même variation de la puissance est réalisée dans le contexte du TCP. Le rayon de cluster étant fixé à 40 /m² tandis que la puissance de transmission de MBS augmente. Dans ce cas de figure, la probabilité de couverture augmente en augmentant la puissance de transmission, avec la même remarque précédente sur le couplage spatial.

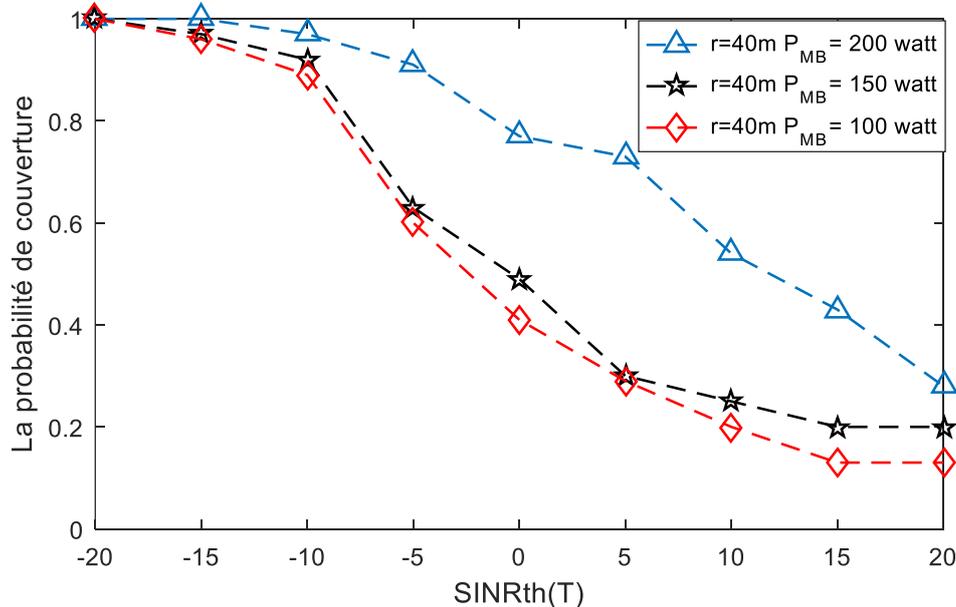


Figure IV.4 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR tout en fixant le rayon du cluster et variant la puissance de transmission de la MBS. (Cas du TCP)

IV.3. Analyse de la couverture avec ICIC

Il est bien intéressant d'analyser la couverture tout en utilisant la coordination d'interférences entre niveaux. Pour cela, nous varions les rayons de clusters et la puissance de transmission respectivement. On remarque en premier lieu, que la probabilité de couverture est améliorée comparant au scénario sans coordination. Cela s'explique par la mesure que les MBS allouent de manière opportuniste les ressources blocs (RB) de fréquences temporaires pour les SBS, ce qui entraîne un fonctionnement orthogonal entre les niveaux et aucune interférence entre les niveaux n'est observée. De plus, malgré l'augmentation de la puissance la probabilité de couverture augmente considérablement. En d'autres termes, plus que l'orthogonalité impliquée, les stations de base se trouvent éloignées les unes des autres. D'autres variations n'ont pas été prises en considération dans notre travail comme, la variation de l'intensité, le Path Loss et aussi les puissances de SBS.

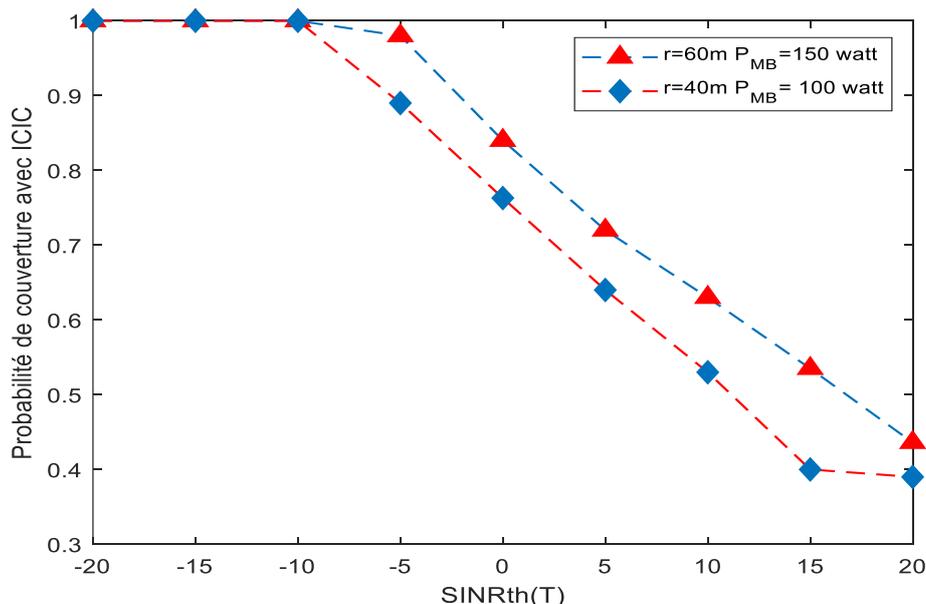


Figure IV.5 : Variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR en variant la puissance de transmission des MBS et aussi les rayons de clusters

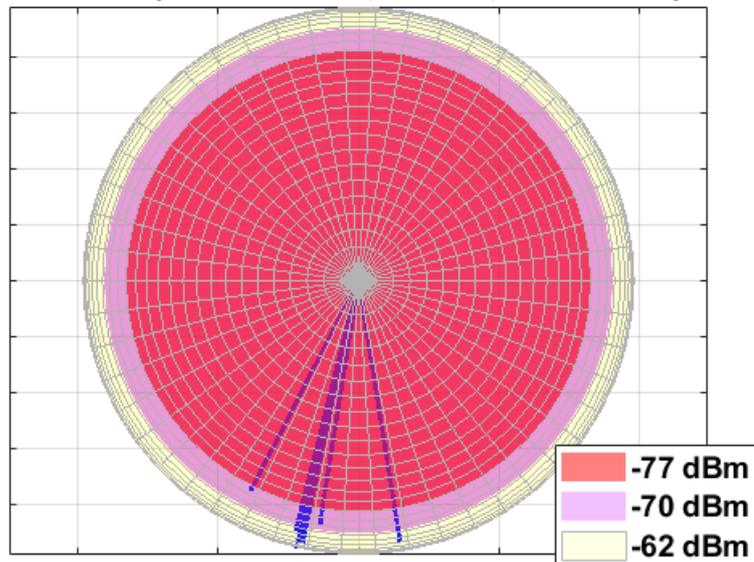
IV.4. Effets de blocage sur les réseaux 5G

Les environnements naturels, tels que les particules atmosphériques, l'eau de pluie, le brouillard, la couche nuageuse, la température et les feuilles et d'autres facteurs ont tous des effets différents sur la communication par ondes millimétriques, différentes caractéristiques géographiques telles que les zones pluvieuses. Les trois effets de blocage typiques suivants sont présentés respectivement, l'atténuation atmosphérique, l'atténuation par l'eau de pluie et l'atténuation par la végétation. Dans cette section, nous analysons la puissance reçue au niveau des utilisateurs sans facteur d'influence des pluies et en ajoutant l'atténuation de la pluie. La Figure IV.6 illustre la variation de puissance de réception dans les deux cas. La simulation a été réalisée en utilisant le logiciel NYUSIM.

On remarque que la pluie peut atténuer le signal de courte longueur d'onde, donc l'atténuation de la pluie à la transmission mmWave est plus considérable dans tous les blocages environnementaux naturels qui affectent la communication 5G. Le degré d'atténuation causé par la pluie dépend de la pluviométrie. La Figure IV.6.a, illustre la variation de la puissance reçue sans pluie, tandis que dans des pluies avec un taux de 120 mm/hr la puissance reçue est dégradée c'est-à-dire que la couverture sera très faible. Une petite pluie peut provoquer des erreurs accidentelles dans les données reçues. Une tempête de pluie peut même provoquer l'interruption de la transmission du signal mmWave. Il est bien clair que dans notre cas la

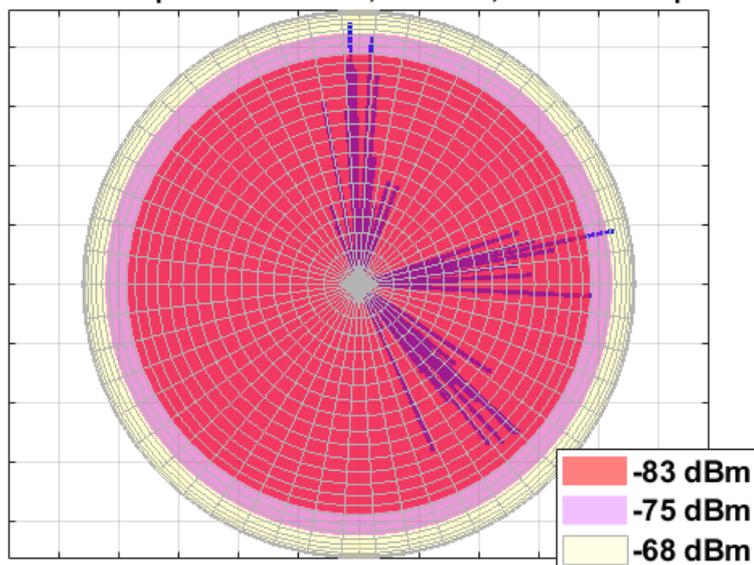
probabilité de couverture calculée précédemment reste une probabilité sans conditions météorologiques.

3-D AOD Power Spectrum - 28 GHz, UMi LOS, 21.8 m T-R Separation



a. Sans atténuation de pluie

3-D AOD Power Spectrum - 28 GHz, UMi LOS, 29.6 m T-R Separation



b. Avec atténuation de pluie

Figure IV.6 : Puissance reçue dans les deux cas avec et sans atténuation de pluie

IV.5. Couverture dans le cas NLOS

La propagation des ondes mmWave peut être affectée par des obstacles conduisant à des blocages de communication. Dans cette partie, nous analysons la couverture dans le cas de la propagation NLOS. Nous constatons que la couverture est très faible dans le cas du NLOS causé par le blocage des buildings. Il est donc préférable d'étudier la probabilité de couverture aussi en prenant en considération la probabilité d'une propagation LOS et d'une propagation NLOS.

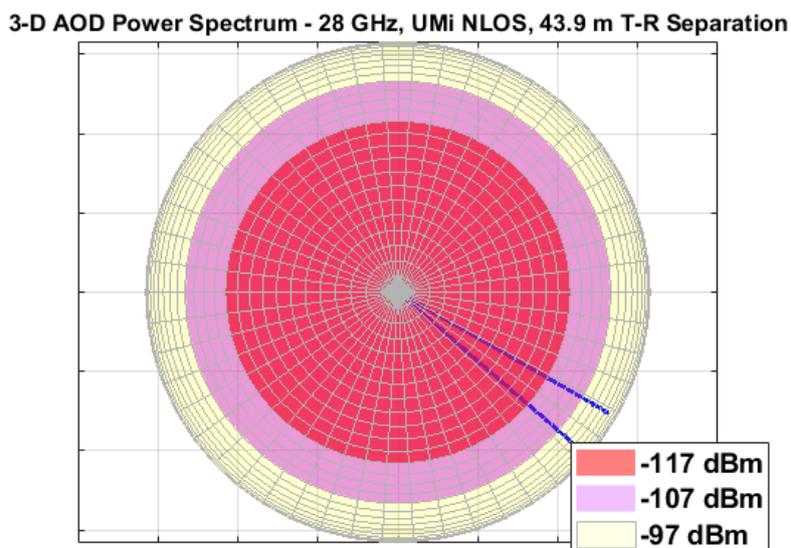


Figure IV.7 : Puissance reçue dans le cas NLOS

Conclusion

L'objectif de notre travail est l'analyse de la couverture 5G en utilisant les deux processus MCP et TCP. Ce chapitre dédié à la simulation et à l'interprétation de nos résultats obtenus nous a amené à étudier dans un premier temps la variation de la probabilité de couverture en fonction du seuil SINR dans le cas de MCP et TCP suivant deux cas, d'abord en variant le rayon du cluster, ensuite en variant la puissance. La distribution des SBS, MBS ainsi que les utilisateurs suivant le TCP est la plus efficace pour représenter un réseau.

On a analysé notre couverture avec coordination d'interférences dans le cas de MCP et TCP tout en variant le rayon de cluster et la puissance respectivement. On a obtenu une couverture améliorée dans les deux cas, avec une coordination mieux réalisée dans le TCP.

D'autre part, les effets de blocage sur les réseaux 5G ont été introduit, à savoir l'atténuation de la pluie et le cas de la propagation NLOS en utilisant le logiciel NYUSIM. Cependant, les ondes millimétriques et la couverture s'affectent par les perturbations météorologiques et le blocage des buildings amenant à avoir une faible couverture avec une puissance réduite.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude aborde la nouvelle génération des réseaux mobiles 5G. C'est une étude en perspective générale de la couverture d'un réseau 5G hétérogène en utilisant la géométrie stochastique plus précisément le processus de poisson avec ses deux modèles, le Matern Cluster Process et le Thomas Cluster Process visant à assurer une meilleure couverture.

Dans le premier chapitre, on a présenté brièvement les réseaux de nouvelle génération 4G, 5G ainsi que leurs architectures de couche physique permettant le routage des données ainsi que d'autres aspects tels que la modulation et la formation des faisceaux. On a aussi abordé la mobilité de la 5G qui est un élément central de la communication cellulaire, ainsi que les deux techniques d'accès, OFDMA et NOMA ayant pour but de partager les ressources spectrales entre plusieurs utilisateurs d'un système radio mobile. De plus, on a parlé sur les techniques de transmission d'un point de vue propagation, on distingue LOS dans lequel les données sont envoyées et reçues uniquement en absence d'obstacles entre les stations émettrices et réceptrices et NLOS dans lequel les données sont envoyées et reçues en présence d'obstacles. Ensuite d'un point de vue antenne en expliquant le principe des quatre antennes utilisées, SISO, SIMO, MISO et MIMO. En dernier on a abordé un concept qui a contribué à l'amélioration des communications sans fil, le beamforming permettant de focaliser le faisceau d'onde radio sur une zone précise et s'annuler ailleurs, donc un gain d'énergie considérable.

Dans le second chapitre, on a expliqué le déploiement de la 5G basé sur les réseaux hétérogènes en utilisant des petites cellules afin de densifier notre réseau et de répondre aux exigences de la 5G, ainsi que le déploiement basé sur les drones utilisés comme station de base afin d'augmenter le débit et d'assurer une qualité de service meilleure. On a présenté aussi le modèle de propagation D-ball utilisé dans les réseaux 5G permettant d'estimer le signal reçu. De plus, on a parlé sur le SINR qui a pour but de mesurer la qualité des connexions sans fil, en présence du beamforming et sans sa présence. Enfin, on a expliqué les deux différents canaux de 5G, m-Nakagami qui est utilisé pour les évanouissements modélisés par les trajets multiples et Rice qui est utilisé pour modéliser un canal avec un chemin direct LOS, ils ont pour but de renforcer la distribution au point de réception.

Dans le troisième chapitre, on s'est basé sur les concepts de base de notre simulation, à savoir l'importance de la géométrie stochastique dans les communications sans fil permettant de faire de bons choix de conception futurs. On s'est intéressé sur le processus de poisson plus précisément avec ses deux modèles le Matern Process et le Thomas Process tout en introduisant

notre modèle mathématique afin de calculer la probabilité de couverture de notre réseau avec et sans coordination d'interférence.

Dans le dernier chapitre, on a analysé les différents résultats obtenus lors de notre simulation qui s'est porté sur l'étude de la variation de la couverture suivant la distribution MCP et TCP avec et sans coordination d'interférence pour avoir une comparaison concrète de nos résultats. Ensuite, on a introduit quelques phénomènes de blocage, à savoir l'atténuation de pluie et le cas de propagation NLOS.

On a conclu que la distribution des SBS et MBS ainsi que des utilisateurs suivant le processus TCP est la plus efficace pour représenter un réseau. L'analyse de notre couverture avec coordination d'interférences dans le cas de MCP et TCP a amené à dire que notre couverture est améliorée dans les deux cas.

L'atténuation de pluie et la présence des obstacles ont une influence sur la communication par ondes conduisant à la dégradation de la puissance ainsi qu'à l'atténuation des signaux et à l'affaiblissement de la couverture.

Notre perspective peut être étendue en utilisant des antennes beamforming et en prenant en considération les environnements LOS et NLOS pour le calcul de la probabilité de couverture. D'autre part le modèle proposé peut comporter des drones au lieu des SBS qui reste la tendance actuelle.

ANNEXE 1

Calcul de la probabilité de couverture MCP

```

function [pc1,pc2] = ComputeCoverageMatern(P,tau_dB,Lambda,m,R)
    P_1 = P(1);
    P_2 = P(2);
    l_p_2 = Lambda(2);
    l_p_1 = Lambda(1);
    alpha = 4;
    tau = 10^(tau_dB/10);
    P_11 = 1;
    P_21 = (P_2/P_1)^(1/alpha);
    % if (x<r-z) && (z<=r)
    chi_1 = @(x) 2.*x/R^2;
% if (x>abs(r-z)) && (x<r+z)
    chi_2 = @(x,z) 2.*x/(pi*R^2).*acos((x.^2+z.^2-R^2)./(2.*x.*z));
    chi_3= chi_2;

    % if z<r, x<r-z %
    C_1 = @(x,z) exp(- m*(1-integral(@(u) chi_1(u)./(1+tau*(x./u)^alpha),x,R-
z,'arrayvalued',true)...
- integral(@(u) chi_2(u,z)./(1+tau*(x./u)^alpha),R-
z,R+z,'arrayvalued',true)));

    % if z<r, r-z<x<z+r %
    C_2 = @(x,z) exp(-m*(1-
integral(@(u) chi_2(u,z)./(1+tau*(x./u)^alpha),x,R+z,'arrayvalued',true,'rel
tol',1e-3,'abstol',1e-3)));
    % if z>r, 0<x<z+r %
    C_3 = @(x,z) exp(-m*(1-
integral(@(u) chi_2(u,z)./(1+tau*(x./u)^alpha),max(x,z-
R),R+z,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3)));
    % if x>r+z , irrespective of z
    C_4 = @(x,z) exp(-m);

    indicator_C = @(x,z) 1.*(z<R).*(x<R-z)+ 2.*(z<R).*(x>R-z).*(x<z+R)+
3.*(z>R).*(x<z+R) + 4*(x>R+z);

    C_1arr= @(x,z) arrayfun(@(x,z)C_1(x,z),x,z);
    C_2arr= @(x,z) arrayfun(@(x,z)C_2(x,z),x,z);
    C_3arr= @(x,z) arrayfun(@(x,z)C_3(x,z),x,z);
    C_4arr= C_4;

    % x<r
    T_1 = @(x) 2*pi*l_p_1 * ( chi_1(x).*integral(@(z) z.* C_1arr(x,z),0,R-
x,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3)+...
integral(@(z) z.*chi_2(x,z).* C_2arr(x,z),R-
x,R,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3)+...
integral(@(z) z.*chi_3(x,z).*
C_3arr(x,z),R,R+x,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
    % r<x<2r
    T_2 = @(x) 2*pi*l_p_1 * ( integral(@(z) z.*chi_2(x,z).* C_2arr(x,z),x-
R,R,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3)+...
integral(@(z) z.*chi_3(x,z).*
C_3arr(x,z),R,x+R,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
    % x>2r
    T_3 = @(x) 2*pi*l_p_1 * ( integral(@(z) z.*chi_3(x,z).* C_3arr(x,z),x-
R,x+R,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));%+...

```

```

M_1 = @(x) exp(-2*pi*1_p_1*...
    ( integral(@(z) ...
        (1-C_1arr(x,z)).*z,0,R-
x, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
        +integral(@(z) ...
            (1-C_2arr(x,z)).*z,R-
x,R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
        +
        integral(@(z) (1-
C_3arr(x,z)).*z,R,20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
        ) );
% r<x<2*r
M_2 = @(x) exp(-2*pi*1_p_1*...
    (integral(@(z) ...
        (1-C_4arr(x,z)).*z,0,x-
R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
        integral(@(z) ...
            (1-C_2arr(x,z)).*z,x-
R,R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
        integral(@(z) ...
            (1-
C_3arr(x,z)).*z,R,20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
        ) );
% x>2*r
M_3 = @(x) exp(-2*pi*1_p_1*...
    (integral(@(z) ...
        (1-C_4arr(x,z)).*z,0,x-
R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
        integral(@(z) ...
            (1-C_3arr(x,z)).*z,x-
R,20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
        ) );
M_PPP = @ (r) exp(-pi*1_p_2*P_21^2.*r.^2.*(1+2*tau./(alpha-
2).*hypergeom([1,1-2/alpha],2-2/alpha,-tau)));
%%
fnc1 = @(r) T_1(r).*M_1(r).*M_PPP(r);
fnc2 = @(r) T_2(r).*M_2(r).*M_PPP(r);
fnc3 = @(r) T_3(r).*M_3(r).*M_PPP(r);
fnc1_arr = @(r) arrayfun(@(r) fnc1(r),r);
fnc2_arr = @(r) arrayfun(@(r) fnc2(r),r);
fnc3_arr = @(r) arrayfun(@(r) fnc3(r),r);

pc_11 = m*integral(@(r) fnc1_arr(r),0,R, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3);
pc_12 = m*integral(@(r) fnc2_arr(r),R,2*R, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3);
pc_13 = m*integral(@(r) fnc3_arr(r),2*R,20*R, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3);
pc1 = pc_11+pc_12+pc_13;
%%
P_12 = (P_1/P_2)^(1/alpha);
P_22 = 1;
% if z<R, x<P_12^-1*(R-z) %
C_1 = @ (x,z) exp(-m*(1-
integral(@(u) chi_1(u) ./ (1+tau*(P_12*x./u)^alpha),P_12*x,R-
z, 'arrayvalued', true)...
-
integral(@(u) chi_2(u,z) ./ (1+tau*(P_12*x./u)^alpha),R-
z,R+z, 'arrayvalued', true)));
% if z<R, P_12^-1*(R-z)<x<P_12^-1*(z+r) %
C_2 = @ (x,z) exp(-m*(1-
integral(@(u) chi_2(u,z) ./ (1+tau*(P_12*x./u)^alpha),P_12*x,R+z, 'arrayvalued',
true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)));
% if z>R, 0<x<P_12^-1*(z+R) %

```

```

C_3 = @ (x, z) exp(-m*(1-
integral(@(u) chi_2(u, z) ./ (1+tau*(P_12*x./u)^alpha), max(P_12*x, z-
R), R+z, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)));
% if x>P_12^-1*(R+z) , irrespective of z
C_4 = @ (x, z) exp(-m);
C_1arr= @ (x, z) arrayfun(@(x, z) C_1(x, z), x, z);
C_2arr= @ (x, z) arrayfun(@(x, z) C_2(x, z), x, z);
C_3arr= @ (x, z) arrayfun(@(x, z) C_3(x, z), x, z);
C_4arr= C_4;
%x<P_12^-1*R
M_1 = @ (x) exp(-2*pi*1_p_1*...
( integral(@(z) ...
(1-C_1arr(x, z)).*z, 0, (R-
P_12*x), 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
+integral(@(z) ...
(1-C_2arr(x, z)).*z, (R-
P_12*x), R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
+ integral(@(z)...
(1-
C_3arr(x, z)).*z, R, 20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
) );
%xP_12^-1*R<x<2*P_12^-1*R
M_2 = @ (x) exp(-2*pi*1_p_1*...
(integral(@(z) ...
(1-C_4arr(x, z)).*z, 0, P_12*x-
R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
integral(@(z) ...
(1-C_2arr(x, z)).*z, P_12*x-
R, R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
integral(@(z) ...
(1-
C_3arr(x, z)).*z, R, 20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
));
%x>2*P_12^-1*R
M_3 = @ (x) exp(-2*pi*1_p_1*...
(integral(@(z) ...
(1-C_4arr(x, z)).*z, 0, P_12*x-
R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)+...
integral(@(z) ...
(1-C_3arr(x, z)).*z, P_12*x-
R, 20*R, 'arrayvalued', true, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-3)...
));
M_PPP = @ (r) 2*pi*1_p_2.*r.*exp(-pi*1_p_2*P_22^2.*r.^2.*(1+2*tau./(alpha-
2).*hypergeom([1, 1-2/alpha], 2-2/alpha, -tau)));
fnc1 = @ (r) M_1(r).*M_PPP(r);
fnc2 = @ (r) M_2(r).*M_PPP(r);
fnc3 = @ (r) M_3(r).*M_PPP(r);
fnc1_arr = @ (r) arrayfun(@(r) fnc1(r), r);
fnc2_arr = @ (r) arrayfun(@(r) fnc2(r), r);
fnc3_arr = @ (r) arrayfun(@(r) fnc3(r), r);
pc_11 = integral(@(r) fnc1_arr(r), 0, P_12^-1*R, 'reltol', 1e-3, 'abstol', 1e-
3);
pc_12 = integral(@(r) fnc2_arr(r), P_12^-1*R, 2*P_12^-1*R, 'reltol', 1e-
3, 'abstol', 1e-3);
pc_13 = integral(@(r) fnc3_arr(r), 2*P_12^-1*R, 20*P_12^-1*R, 'reltol', 1e-
3, 'abstol', 1e-3);

pc2 = pc_11+pc_12+pc_13;

```

ANNEXE 2

Calcul de la probabilité de couverture TCP

```

function [pc1,pc2] = ComputeCoverageThomas(P,tau_dB,Lambda,m,sigma)

P_1 = P(1);
P_2 = P(2);

l_p_2 = Lambda(2);
l_p_1 = Lambda(1);

alpha = 4;
tau = 10^(tau_dB/10);

f_d1 = @(x,r) ricepdf(x,r,sigma);

%%% P-s %%
P_11 = 1;
P_21 = (P_2/P_1)^(1/alpha);

C1 = @(r,s) integral(@(u)f_d1(u,s)./(1+tau*(P_11*r./u).^alpha),P_11*r,40*sigma,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
C_arr1 = @(r,s) arrayfun(@(r,s) C1(r,s),r,s);
%%% T-s %%%
T1 = 2*pi*l_p_1.*integral(@(s)f_d1(r,s).*C_arr1(r,s).*s,0,20*sigma,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3);

M1 = @(r) exp(-2*pi*l_p_1*integral(@(s) (1-C_arr1(r,s)).*s,0,20*sigma,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
M2 = @(r) exp(-pi*l_p_2*P_21^2.*r.^2.*(1+2*tau./(alpha-2)).*hypergeom([1,1-2/alpha],2-2/alpha,-tau));
f1 = @(r) T1(r).*M1(r).*M2(r);
f1_arr = @(r) arrayfun(@(r) f1(r),r);
pc1 = m*integral(@(r) f1_arr(r),0,20*sigma,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3);

P_12 = (P_1/P_2)^(1/alpha);
P_22 = 1;
C1 = @(r,s) integral(@(u)f_d1(u,s)./(1+tau*(P_12*r./u).^alpha),P_12*r,40*sigma,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
C_arr1 = @(r,s) arrayfun(@(r,s) C1(r,s),r,s);
M1 = @(r) exp(-2*pi*l_p_1*integral(@(s) (1-C_arr1(r,s)).*s,0,20*sigma,'arrayvalued',true,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3));
M2 = @(r) 2*pi*l_p_2.*r.*exp(-pi*l_p_2*P_22^2.*r.^2.*(1+2*tau./(alpha-2)).*hypergeom([1,1-2/alpha],2-2/alpha,-tau));
f2 = @(r) M1(r).*M2(r);
f2_arr = @(r) arrayfun(@(r) f2(r),r);
pc2 = integral(@(r) f2_arr(r),0,20*sigma,'reltol',1e-3,'abstol',1e-3);

```

Simulateur NYUSIM

NYUSIM
Millimeter-Wave Channel Simulator

Version 3.0 March 25, 2021

NYU WIRELESS | NYU TANDON SCHOOL OF ENGINEERING

- To begin the simulator, click Start
- Set your input parameters below
- Select a folder to save files
- Click Run
- To run another simulation, click Reset, and repeat Steps 2-4

Start **Reset**

Spatial consistency: On Off

Channel Parameters

Scenario: UMi

Frequency (0.5-100 GHz): 28 GHz

RF Bandwidth (0-800 MHz): 800 MHz

Distance Range Option: Standard (10-500 m)

Environment: LOS

T-R Separation Distance Lower Bound: 10 m

Upper Bound: 50 m

TX Power (0-50 dBm): 30 dBm

Base Station Height: 3 m

User Terminal Height: 1.5 m

Number of RX Locations: 1

Antenna Properties

TX Array Type: ULA

RX Array Type: ULA

Number of TX Antenna Elements Nt: 1

Number of RX Antenna Elements Nr: 1

TX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100): 0.5

RX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100): 0.5

Number of TX Antenna Elements Per Row Wt: 1

Number of RX Antenna Elements Per Row Wr: 1

TX Antenna Azimuth HPBW (7°-360°): 10°

RX Antenna Azimuth HPBW (7°-360°): 10°

TX Antenna Elevation HPBW (7°-45°): 10°

RX Antenna Elevation HPBW (7°-45°): 10°

Spatial Consistency Parameters

Correlation Distance of Shadow Fading (5-60 m): 10 m

Update Distance: 1 m

Correlation Distance of LOS/NLOS Condition (5-60 m): 15 m

Moving direction (0°-360°): 45°

User Velocity (1-30 m/s): 1 m/s

User Track Type: Linear

Moving Distance (1-100 m): 40 m

Side Length (Only for Hexagon track): 10 m

Segment Transitions: Yes

Orientation (Only for Hexagon track): Clockwise

Select a Folder to Save Files

/Users/

Output File Type: Text File

Run

Exit

Barometric Pressure: 1013.25 mbar

Humidity (0-100%): 50 %

Temperature: 20 °C

Polarization: Co-Pol

Rain Rate (0-150 mm/hr): 120 mm/hr

Foliage Loss: No

Distance Within Foliage: 0 m

Foliage Attenuation: 0.4 dB/m

Outdoor to Indoor (O2I): No

Penetration Loss: No

O2I Loss Type: Low Loss

Human Blockage Parameters:

Human Blockage: On Off

Trans. Rate from Unshadow to Decay: 0.2 /sec

Trans. Rate from Decay to Shadow: 8.1 /sec

Trans. Rate from Shadow to Rise: 7.8 /sec

Trans. Rate from Rise to Unshadow: 6.7 /sec

Default Settings for Human Blockage: No

Mean Attenuation: 14.4 dB

Running, please wait... 0%

Bibliographie

- [1] K. Hacini, R. Khelifi, “Transition 2G/3G/4G en communication mobile: cas site université d’ATM Mobilis”, université A.Mira-Bejaia: faculté de technologie, 2018/2019.
- [2] “Evaluation de l’exposition du public aux ondes électromagnétiques 5G, présentation générale de la 5G”, juillet 2019.
- [3] F. Morlot “Processus spatio-temporels en géométrie stochastique et application à la modélisation de réseaux de télécommunication”, janvier 2014.
- [4] I. Chaabane, “4G LTE (Long Term Evolution)”, Regional Forum for ARAB Region: IMTSystems TEchnology, Evolution and Implementation Tunis, Tunisia, mai 2013.
- [5] “Les enjeux de la 5G ”, Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, mars 2017.
- [6] J. Cavazos, “5G NR Protocol Structure Changes - An Overview”, 23 juillet 2020, https://blogs.keysight.com/blogs/inds.entry.html/2020/07/23/5g_nr_protocol_struct-UHiS.html.
- [7] Y. Bougue, E. Hardouin, F. Wolff, “LTE et les réseaux 4G”, sous la direction de guy pujolle, 2012.
- [8] A. Amazit, “Impact des interferences de la couche physique sur la couche MAC dans la technologie LTE”, université de québec à trois-rivières, juin 2011.
- [9] F. Launay, “Les réseaux de mobiles 4G et 5G”, février 2021, <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/beamforming/>.
- [10] S. Benariba, M. Benosman, “Etude et implementation de Handover intra-LTE basé sur une architecture femtocellules”, université Aboubakr Belkaid-Tlemcen, juin 2018.
- [11] E. Moutaly, “Etude d’une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G”, université paris-est, décembre 2019.
- [12] S. Arumugam, A. Prasad, S. Baskaran, A. Zugenmaier, “3GPP 5G security”, mai 2018.
- [13] “Information Systèmes numériques à bande étroite FDMA et TDMA”, icom
- [14] Y. Liu, Z. Qin, M. ElKashlan, Z. Ding, A. Nallanathan, L. Hanzo, “Non-Orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond”.
- [15] OFDMA, janvier 2021, [https://fr.wikipedia.org/wiki/OFDMA#:~:text=L'OFDMA%20\(ou%20orthogonal%20frequency,e%20et%205e%20g%C3%A9n%C3%A9ration.](https://fr.wikipedia.org/wiki/OFDMA#:~:text=L'OFDMA%20(ou%20orthogonal%20frequency,e%20et%205e%20g%C3%A9n%C3%A9ration.)
- [16] M. Aldababsa, M. Toka, S. Gökçeli, G. Kurt, O. Kucur, “A tutorial on Non Orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond”, Academic editor:Nathalie mitton, juin2018.

- [17] W. Chaou, F. Djouadi, “Etude de la technique d’Accès Multiple Non Orthogonal NOMA”, université A.Mira-Bejaia, 2019/2020.
- [18] R. Kizilirmak, “Non Orthogonal Multiple access (NOMA) for 5G networks”, septembre 2016, <https://www.intechopen.com/books/towards-5g-wireless-networks-a-physical-layer-perspective/non-orthogonal-multiple-access-noma-for-5g-networks>.
- [19] “Difference between LOS and NLOS wireless channels”, <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/LOS-vs-NLOS-wireless-channel.html>.
- [20] “Non-Line Of Sight (NLOS)”, <https://www.techopedia.com/definition/5077/non-line-of-sight-nlos>.
- [21] K. Daci, W. Dou, “Etude de massive MIMO pour 5G”, université echahid hamma lakhdar el-oued, juin 2019.
- [22] A. Aldhaferi, “Conception et simulation d’une antenne MIMO”, université Mohamed khider de biskra, juillet 2019.
- [23] B. Abdat, H. Yousfi, “Simulation d’un système de communication numérique, multi-accès et multi-porteuses pour un système de quatrième generation (4G)”, université Djilali bounaama khemis miliana, 2017/2018.
- [24] I. Resfa, “Intégration de la technologie MIMO dans les réseaux Mesh sans fil”, université Abou bekr belkaid, juin 2013.
- [25] E. Bjornson, M. Bengtsson, B. Ottersten, “Optimal Multiuser Transmit Beamforming: A difficult problem with a simple solution structure”, IEEE Signal Processing Magazine, juillet 2014.
- [26] A. Ngom, “Conception de petits réseaux d’antennes reconfigurables ou small cells pour le standard 5G”, thèse de doctorat, mai 2019.
- [27] “DOCOMO 5G white paper”, 5G radio access:requirements, concept and technologies, NTT DOCOMO,INC, juillet 2014.
- [28] L. Wolfgang, “LTE Advanced Heterogeneous Network Architecture”, https://www.researchgate.net/figure/LTE-Advanced-Heterogeneous-Network-Architecture_fig1_260432883.
- [29] M. Mozaffari, A. T. Z. Kasgari, W. Saad, M. Bennis, M. Debbah, “3D cellular network architecture with drones for beyond 5G”, IEEE conference and exhibition on global telecommunications, 2018.
- [30] M. A. Ouamri, “Stochastic geometry modeling and analysis of downlink coverage and rate in small cell network”, telecommunication systems, mars 2021.

- [31] P. Dat-Duong, “Controle de la puissance pour les réseaux sans fil”, université de poitiers, février 2015.
- [32] “Signal to interference plus noise ratio”, https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-interference-plus-noise_ratio.
- [33] H. Elsayy, E.Hossain, “Two-Tier HetNets with Cognitive Femtocells: Downlink Performance Modeling and Analysis in a Multi-Channel Environment”, IEEE transactions on mobile computing, mars 2014.
- [34] “What is the difference between nakagami-m and general fading?”, novembre 2020, https://www.researchgate.net/post/what_is_the_difference_between_nakagami-m_and_general_fading.
- [35] “Why is nakagami-m fading channel considered? What does m indicate? Where it is we can consider?”, décembre 2015. https://www.researchgate.net/post/Why_is_nakagami-m_fading_channel_considered_What_does_m_indicate_Where_it_is_we_can_consider
- [36] A. Andriamanalina, “Modélisation des différents canaux des systems de communication numérique”, université d’antananarivo, juin 2012.
- [37] Z. Kadri, S. Dib, “Techniques de positionnement dans le réseau 5G”, université A.Mira-Bejaia, 2019/2020.
- [38] A. Bounegab, A. Belkhairi, “Performances d’un système de communication sans fil à base de la technique FBMC pour la 5G”, université Kasdi merbah ouargla, juin 2018.
- [39] J. Pinoli, “Géométrie stochastique”, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, Saint-Étienne, France, octobre 2010.
- [40] W. Koehrsen, “The poisson Distribution and Poisson Process Explained”, 20 janvier 2019, <https://towardsdatascience.com/the-poisson-distribution-and-poisson-process-explained-4e2cb17d459#:~:text=The%20Poisson%20Process%20is%20the,time%20until%20the%20next%20event>.
- [41] M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena, “Next generation 5G wireless networks: A comprehensive”, IEEE Communications surveys and tutorials, 2016.
- [42] H. Zhang, C. Jiang, X. Mao, H. Chen, “Interference-Limited Resource Optimization in Cognitive Femtocells with Fairness and Imperfect Spectrum Sensing”, IEEE Trans Veh.Technol., 2016.
- [43] H. O. Kpojime, G. A. Safdar, “Interference mitigation in cognitive-radio-based femtocells”, IEEE Commun Surveys Tut, 2015.

- [44] M. Cheng, J. -B. Wang, Y. Wu, X. -G. Xia, K. -K. Wong, M. Lin, “Coverage Analysis for Millimeter Wave Cellular Networks with Imperfect Beam Alignment”, IEEE Trans on Vehicular Technology, 9 septembre 2018.
- [45] T. Bai, V. Desai, R.W. Heath, “Analysis of blockage effects on urban cellular networks”, Submitted to IEEE Trans on Wireless Commun, septembre 2018.
- [46] Z. Yan, W. Zhou, S. Chen, H. Liu, “Modeling and Analysis of Two-Tier HetNets with Cognitive Small Cells”, IEEE Access, 2017.
- [47] P. Keeler, “Simulating a Thomas cluster point process”, décembre 2018, <https://hpaulkeeler.com/simulating-a-thomas-cluster-point-process/>.
- [48] P. Keeler, “Simulating a Matérn cluster point process”, novembre 2018, <https://hpaulkeeler.com/simulating-a-matern-cluster-point-process/>.
- [49] M. A. Ouamri, M. Ottesteanu, A. Izar, M. Azni, “Coverage, Handoff and cost optimization for 5G Heterogeneous Network”, Physical communication, avril 2020.
- [50] J. G. Andrews, T. Bai, M. N. Kulkarni, A. Alkhateeb, A. K. Gupta, R. W. Heath, “Modeling and analyzing millimeter wave cellular systems”, IEEE Trans Commun, 1 janvier 2017.

Résumé

Le réseau 5G est actuellement considéré comme une technologie émergente afin d'optimiser la capacité et accroître la couverture. Cependant, avec l'augmentation des utilisateurs, les performances du réseau doivent être améliorées. Ce travail présente une étude sur la couverture 5G hétérogène en appliquant la géométrie stochastique pour objectif de la modéliser et de l'évaluer en terme de probabilité. Les logiciels MATLAB et NYUSIM nous ont permis de réaliser cette analyse et de comprendre certains aspects liés à notre étude.

Mots clés : 5G, OFDMA, NOMA, LOS, NLOS, Beamforming, SINR, m-Nakagami, Rice, Géométrie Stochastique, Matern Cluster Process, Thomas Cluster Process, ICIC.

Abstract

The 5G network is currently considered an emerging technology to optimize capacity and increase coverage. However, with the increase of users, the network performance needs to be improved. This work presents a study of heterogeneous 5G coverage by applying stochastic geometry with the objective of modeling it and evaluating it in terms of probability. MATLAB and NYUSIM software have allowed us to perform this analysis and to understand some aspects related to our study.

Keywords : 5G, OFDMA, NOMA, LOS, NLOS, Beamforming, SINR, m-Nakagami, Rice, Stochastic Geometry, Matern Cluster Process, Thomas Cluster Process, ICIC.