

Mesure basé sur l'évaluation de performance d'un système antenneaire 3d-massive MIMO dans un réseau 5G HetNet

Randriamiadana Z.A¹, Randriamitantsoa P. A², Randriamitantsoa A. A.³

Laboratoire de Recherche Télécommunication, Automatique, Signal et Images (LR-TASI)
Ecole Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation (ED-STII)
Équipe d'Accueil Doctorale Télécommunication, Automatique, Signal et Images (EAD-TASI)
Université d'Antananarivo

BP 1500, Ankatso – Antananarivo 101 – Madagascar

¹ aarlovah@yahoo.fr, ² rpauguste@gmail.com, ³ andriau23@gmail.com

Résumé

Avec l'avancement des technologies de réseaux mobiles, la demande d'un débit plus élevé et d'une latence faible augmente continuellement. Les services 5G nécessitent une capacité de réseau allant de 1000 fois plus grande et des vitesses de données 10 à 100 fois plus rapides, que la 4G. L'Union internationale des télécommunications (UIT) définit à 1 Gbit / s le débit de pointe de référence perçu par l'utilisateur, avec une vitesse perçue omniprésente de 100 Mbit/s dans les milieux extérieurs. L'Alliance des réseaux mobiles de nouvelle génération (NGMN) a proposé un ensemble de normes similaires qui incluent une vitesse perçue supérieure à 1 Gbit/s dans les zones urbaines denses, 100 Mbit/s dans les zones urbaines et un 50 Mbit/s dans les zones suburbaines. Ainsi, la 5G sera donc le fondement d'un monde hyperconnecté. Le déploiement de petites cellules dans le cadre d'une architecture de réseau hétérogènes (HetNet) sont largement

acceptés pour améliorer le débit car ils permettent de remédier aux problèmes de couverture en déployant une autre cellule sous la zone de couverture de la macro-cellule.

De plus, la technologie antenneaires à entrées multiples et sorties multiples avec un nombre élevé d'antennes (Massive MIMO) a été considéré comme une excellente technologie qui utilise des effets multi-trajets et améliore considérablement la capacité du système. Cependant, la majorité des travaux portant sur le système Massive MIMO se sont concentrés sur le guidage de faisceau unidimensionnel (azimutal). L'ajout de la deuxième dimension (élévation) au système massif MIMO a été désigné sous le nom de MIMO tridimensionnel (3D-MIMO) car les faisceaux pouvant couvrir l'espace 3D, améliorant ainsi la couverture réseau et réduisant les interférences. Cet article se concentre sur l'évaluation des performances du système d'antenne 3D-Massive MIMO dans un réseau

hétérogène 5G pour différents scénarios et différentes bandes de fréquences.

Mot clés : 5G, HetNet, UIT, 3D-MIMO

Abstract

With the advancement of mobile networks, the demand for higher throughput and low latency is continuously rising. 5G services require 5G networks with 1000 times larger capacity and 10 to 100 times faster data speeds. The International Telecommunication Union (ITU) sets the benchmark for user-perceived peak rate for 1 Gbit/s, with an omnipresent perceived speed of 100 Mbit/s for outdoor places. The Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance put forward a similar set of standards that include a perceived speed of above 1 Gbit/s in dense-urban areas, a ubiquitous 100 Mbit/s in urban areas, and a pervasive 50 Mbit/s speed in suburban areas. Thus, 5G will be the foundation of a hyper-connected world. Heterogeneous networks (HetNet) are widely accepted to enhance the throughput as they do have low pathloss among the others. HetNet deploys another cell under the coverage area of the macro cell. The HetNet offloads the macro cell that avoids congestion and enhances the coverage of the network. Moreover, we all know that multiple-input multiple-output technology with high number of antennas (Massive MIMO) has been an excellent technology that make use of multipath effects and enhance the system

capacity dramatically. However, the majority of works that addressed Massive MIMO system focused on one dimensional (azimuthal) beam steering only. Adding the second dimension (elevation) to the massive MIMO system has been denoted as three-dimensional MIMO(3D-MIMO) since beams will cover the 3D space, thus enhancing coverage, reducing interference and enhancing capacity. For that, the main focus of this article is based on the performance evaluation of 3D-Massive MIMO antenna system in a 5G heterogenous network, for different environment and frequency bands.

Keywords: 5G, HetNet, IUT, 3D-Massive MIMO

1. Introduction

Ces dernières années, l'utilisation de réseau mobile a été multipliée par quatre par rapport aux réseaux fixes [1]. La demande croissante de connectivité au réseau mobile associée à une possession accrue de smartphones, à une augmentation de l'utilisation mobile à l'intérieur des bâtiments et à un débit de données plus élevé est à l'origine de l'évolution des communications cellulaires. Pour faire face à la demande de débit toujours croissante des technologies sans fil, les technologies existantes s'améliorent constamment. La technologie de réseau d'évolution à long terme (LTE ou 4G) ne satisfait pas encore cette demande alarmante ce qui pousse donc la cinquième génération (5G) à travailler constamment dans le but d'améliorer les performances globales des communications

cellulaires. L'utilisation du système d'antenne 3D-Massive MIMO et le déploiement massif des petites cellules ont été identifiés comme une approche importante pour augmenter la capacité et la couverture du réseau mobile. Ils peuvent être utilisés pour fournir un service sans fil à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

2. Architecture générale des réseaux de télécommunications 5G

L'architecture générale du réseau de télécommunication 5G se compose d'un accès Radio ou *Next Generation RAN (NG-RAN)* et d'un réseau cœur ou *5G Core (5GC)* [1] [2]. La Figure 1 illustre cette architecture.

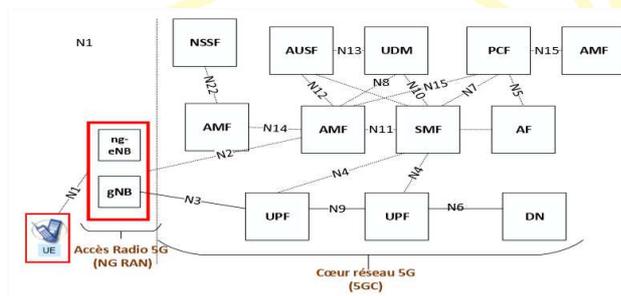


Figure 1 : Architecture 5G et interfaces entre entités

- AMF: Access and Mobility Management Function (MME)
- AUSF: Authentication Server Function (AuC)
- UDM: Unified Data Management (HLR/HSS)
- SMF: Session Management Function (MME)
- NSSF: Network Slice Selection Function
- PCF: Policy Control Function
- UPF: User Plane Function (S/PGW)
- DN: Data Network (PDN)
- AF: Application Function
- UE : User Equipment

3. Modèle du système

Dans le cas d'un système de communication utilisant les systèmes 3D-Massive MIMO, comme représenté par la figure 2, la station de base (SB) et la station mobile (SM) sont composés, respectivement, d'un nombre élevé d'antennes émettrices M et d'antennes réceptrices N . Leurs emplacements sont définis par les coordonnées cartésiennes (x_t, y_t, z_t) et (r, y_r, z_r) .

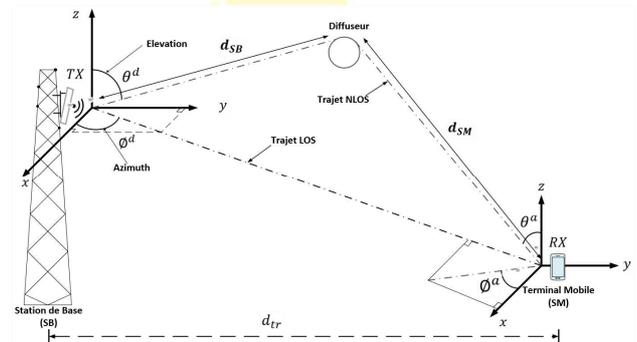


Figure 2 : Modèle du canal de propagation 3D-Massive MIMO

La génération des coefficients du canal 3D-Massive MIMO est donnée à partir d'une succession d'étapes décrites par la Figure 3 [3].

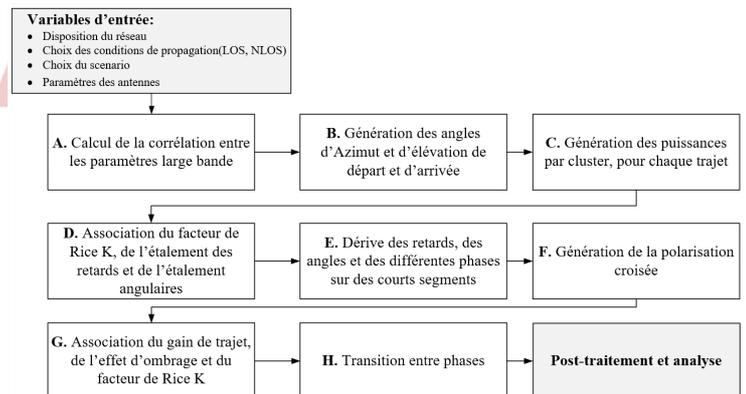


Figure 3 : Génération des coefficients du canal 3D-Massive MIMO

4. Evaluation de performance des systèmes 3D-Massive MIMO

4.1 Gain de trajet

Le gain P_G du signal transmis par la station de base SB est donné par :

$$P_G = -A \cdot \log_{10} d_{tr} - B - C \cdot \log_{10} f + X \quad (1)$$

Avec d_{tr} représentant la distance entre la station de base et le terminal

f représentant la fréquence utilisée

A, B, C et X représentant les coefficients pour des scénarios spécifiques

A, B, C et X sont des coefficients spécifiques aux scénarios.

L'exposant du gain de trajet A varie souvent entre 20 et 40 selon les conditions de propagations, la hauteur de la station de base par rapport au sol et d'autres facteurs.

A partir (1) et en tenant compte de l'effet d'ombrage \mathcal{O} , le gain effectif est donné par:

$$P_i^{eff} = \sqrt{10^{0.1(P_G + \mathcal{O}_G)}} \quad (2)$$

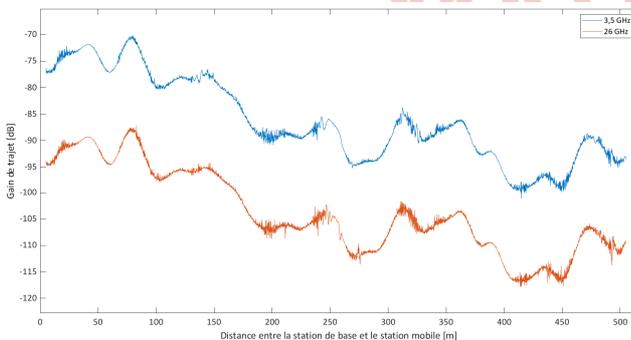


Figure 1 : Gain de trajet, en fonction de la distance, dans un milieu UMa LOS

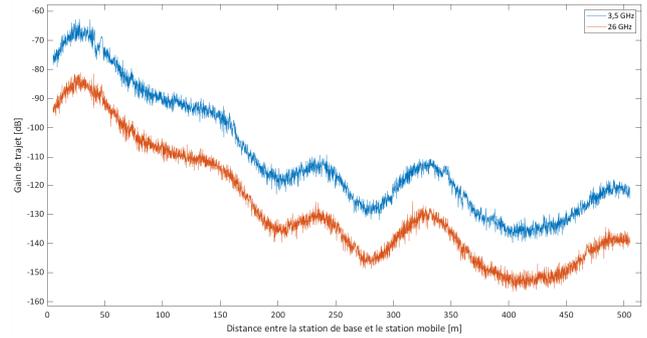


Figure 2 : Gain de trajet, en fonction de la distance, dans un milieu UMa NLOS

Les résultats, représentés par les figures 1 et figure 2, montrent que l'utilisation d'une bande millimétrique présente un faible gain de signal, surtout dans une condition NLOS.

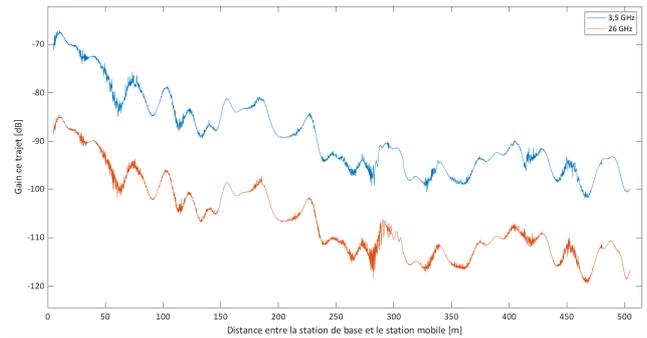


Figure 3 : Gain de trajet, en fonction de la distance, dans un milieu UMi LOS

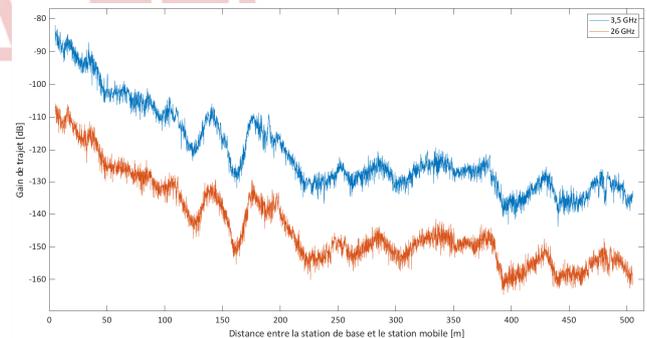


Figure 4 : Gain de trajet, en fonction de la distance, dans un milieu UMi NLOS

Les figures 3 et 4 montrent les mêmes résultats que ceux représentés par les figures 1 et figure 2 c'est-à-dire que le gain de signal obtenu par l'utilisation de la bande 26GHz est très mauvais par rapport au gain obtenu dans la bande 3,5GHz. Au contraire, on peut voir que l'utilisation des bandes millimétriques permet d'avoir une puissance de signal élevé dans les zones UMi.

4.2 Evaluation de l'affaiblissement du signal

La puissance du signal, dans une situation NLOS, est donnée par :

$$P_l^{[1]} = \exp\left(-\tau_l^{[1]} \cdot \frac{r_\tau - 1}{r_\tau} \cdot \sigma_\tau\right) \cdot 10^{\frac{-z_l}{10}} \quad (3)$$

Et à partir de (3), la puissance du premier trajet est donnée par :

$$P_1^{[2]} = K \sum_{l=2}^L P_l^{[1]} \quad (4)$$

$$P_{2...l}^{[2]} = P_{2...l}^{[1]} \quad (5)$$

Finalement, la puissance totale du signal émis, pour un trajet l , est donnée par :

$$P_l = \frac{P_l^{[2]}}{\sum_{l=1}^L P_l^{[2]}} \quad (6)$$

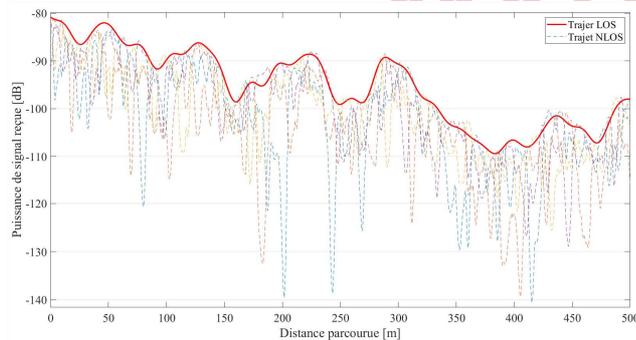


Figure 8 : Variation du signal, en fonction de la distance, dans une zone UMa et dans une bande de 3,5GHz

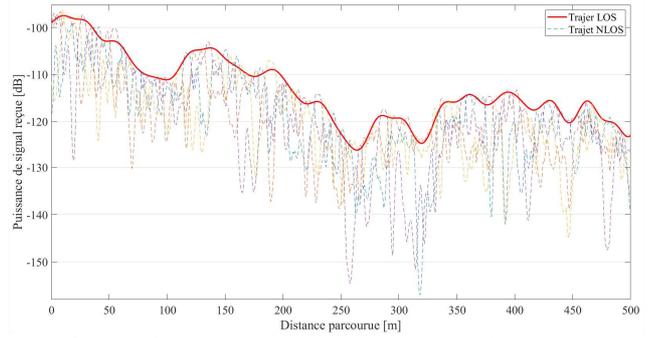


Figure 9 : Variation du signal, en fonction de la distance, dans une zone UMa et dans une bande de 26GHz

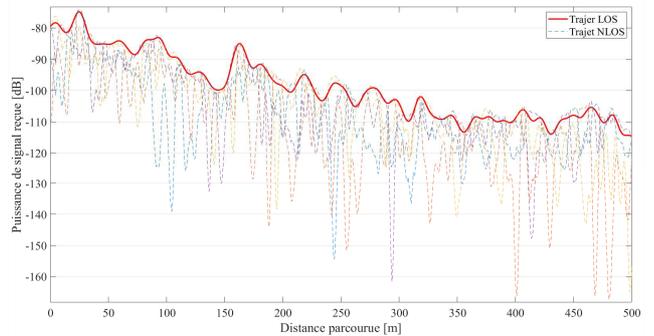


Figure 10 : Variation du signal, en fonction de la distance, dans une zone UMi et dans une bande de 3,5GHz

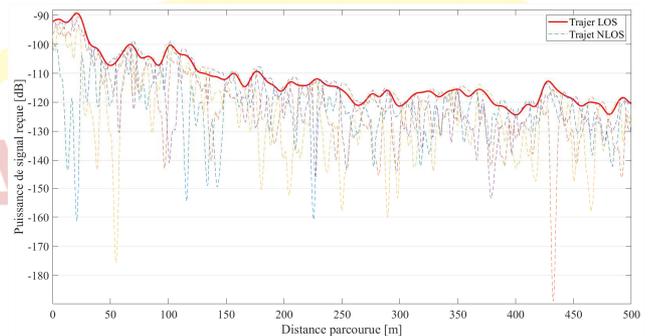


Figure 11 : Variation du signal, en fonction de la distance, dans une zone UMi et dans une bande de 26GHz

Les résultats nous montrent que l'utilisation des systèmes antennaires 3D-Massive MIMO permet

de garantir une qualité de signal plus élevée et donc d'un retard de trajet plus faible, même dans le cas des trajets hors ligne de vision (NLOS) et même la distance entre l'émetteur et le récepteur augmente progressivement.

4.3 Evaluation de l'affaiblissement du signal

L'étalement des retards à un moment T est donné par l'équation suivant :

$$\sigma_{\tau}^T = \sqrt{\sum_{l=1}^L P_l \cdot \tau_l^2 - \left(\sum_{l=1}^L P_l \cdot \tau_l\right)^2} \quad (5)$$

avec

P_l la puissance du trajet

τ_l le retard du trajet

Le retard initial de départ est donné par :

$$\tau_l^1 = -r_{\tau} \sigma_{\tau}^T \ln(X_l) \quad (6)$$

avec

l le nombre de trajet

$X_l \sim \mathcal{U}(0,1)$ est un variable aléatoire uniformément distribué entre 0 et 1

σ_{τ} l'étalement de retard initial

r_{τ} un facteur de proportionnalité

En utilisant (6), l'étalement de retard à un moment T est donné par :

$$\sigma_{\tau}^T = \sqrt{\sum_{l=1}^L P_l \cdot \tau_l^2 - \left(\sum_{l=1}^L P_l \cdot \tau_l\right)^2} \quad (7)$$

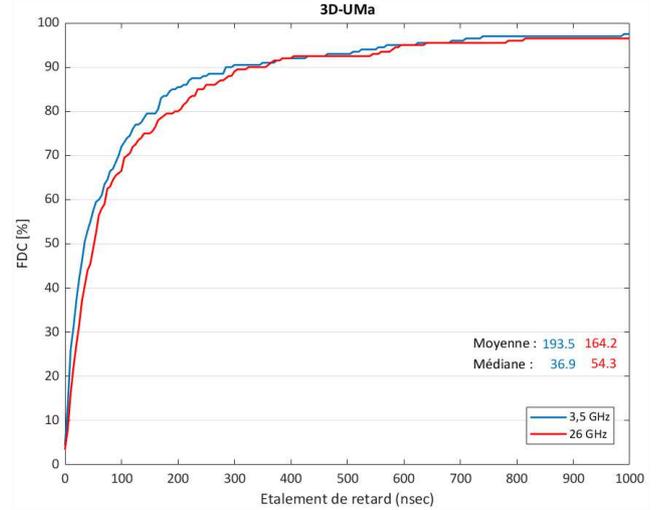


Figure 12 : FDC de l'étalement des retards en zone UMa LOS, d'un système antennaire Massive MIMO

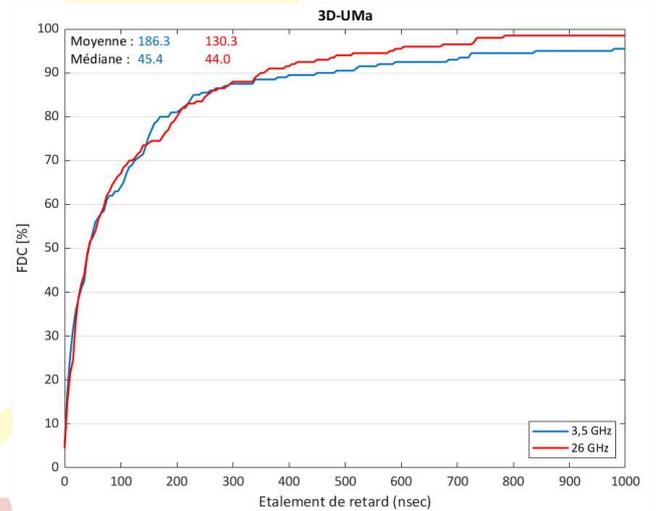


Figure 13 : FDC de l'étalement des retards en zone UMa LOS, d'un système 3D-Massive MIMO

Les figures 12 et 13 montrent que la moyenne des étalements des retards, pour le cas de l'utilisation des systèmes Massive MIMO, est supérieur aux moyennes des étalements des retards dans le cas

des systèmes 3D-Massive MIMO. Ce qui conclut la performance des systèmes 3D-Massive MIMO.

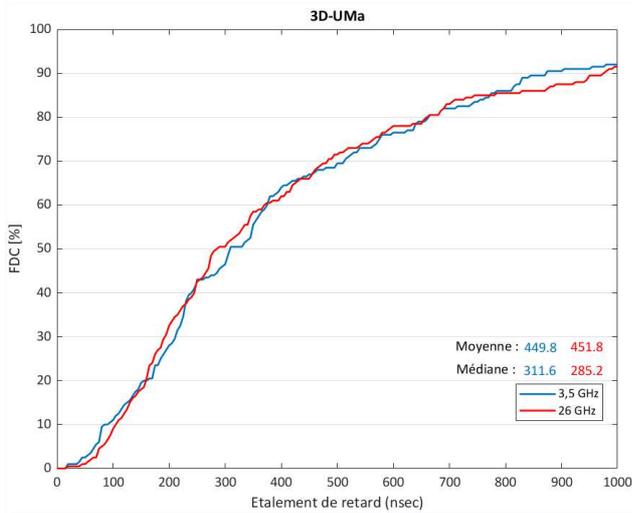


Figure 14 : FDC de l'étalement des retards en zone UMa NLOS, pour le cas des systèmes Massive MIMO

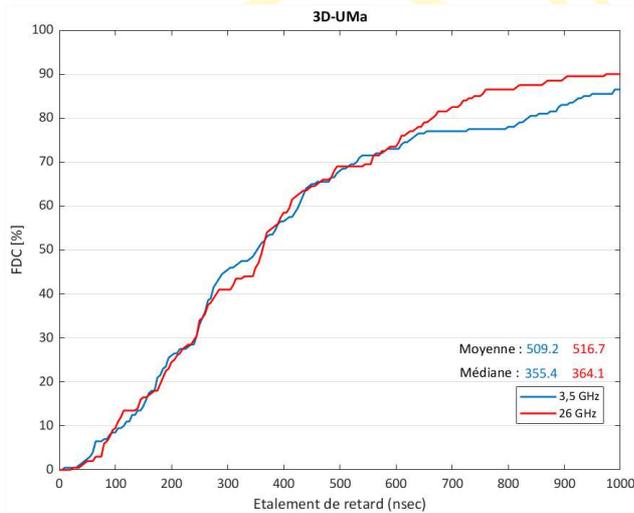


Figure 15 : FDC de l'étalement des retards en zone UMa NLOS, pour le cas des système 3D-Massive MIMO

Les figures 14 et 15 donnent les mêmes résultats de performance, pour le cas de l'utilisation d'un système 3D-Massive MIMO et dans le cas NLOS.

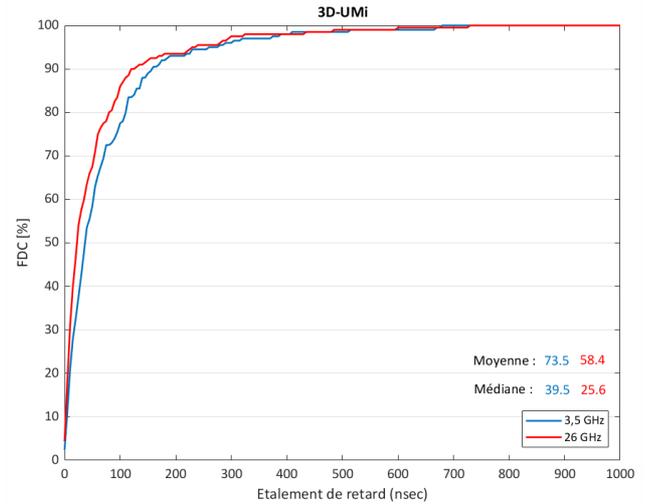


Figure 16 : FDC de l'étalement des retards en zone UMi LOS, pour le cas de l'utilisation du système Massive MIMO

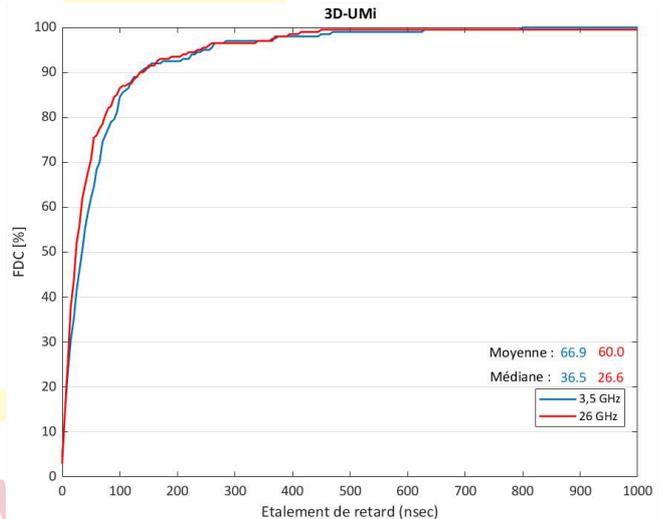


Figure 17 : FDC de l'étalement des retards en zone UMi LOS, pour le cas de l'utilisation du système 3D-Massive MIMO

Les figures 16 et 17 montrent que l'utilisation des systèmes antennaires 3D-Massive MIMO avec une bande millimétrique, dans un milieu UMi LOS, donnent une valeur faible de l'étalement des retards.

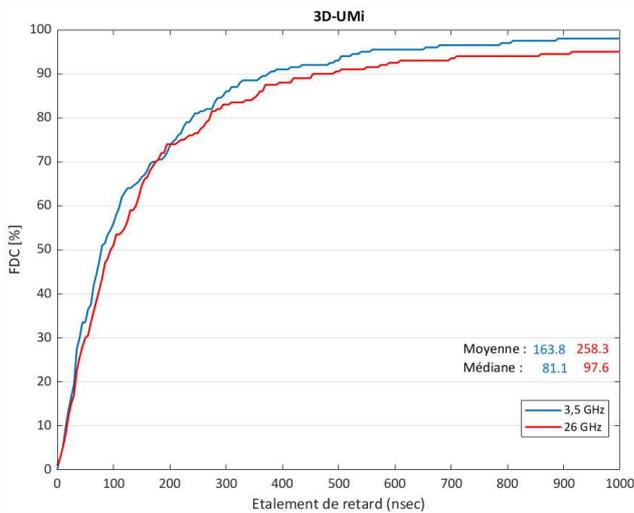


Figure 18 : FDC de l'étalement des retards en zone UMi NLOS, pour le cas de l'utilisation du système Massive MIMO

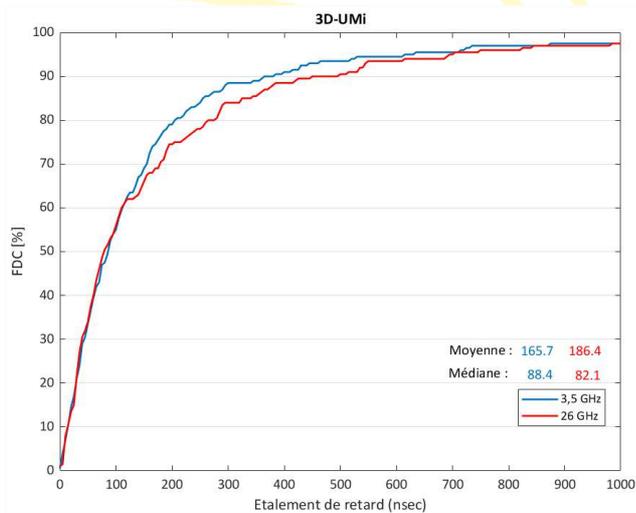


Figure 19 : FDC de l'étalement des retards en zone UMi NLOS, pour le cas de l'utilisation du système 3D-Massive MIMO

Dans un milieu indoor, l'étalement des retards a tendance à augmenter lorsque la distance séparant les antennes augmente. Ce qui paraît normale, mais les résultats des simulations montrent que

l'utilisation des antennes directives 3D-Massive MIMO avec les systèmes antennaires à ondes millimétriques rend la différence du temps d'arrivée des premiers signaux avec le temps d'arrivées des derniers signaux, beaucoup plus importante. On peut aussi en déduire que l'étalement des retards est beaucoup plus faible, pour le cas de l'utilisation des antennes 3D-Massive MIMO.

5. Performance des systèmes 3D-Massive MIMO appliqué à l'Internet des véhicules

5.1 Puissance de signal

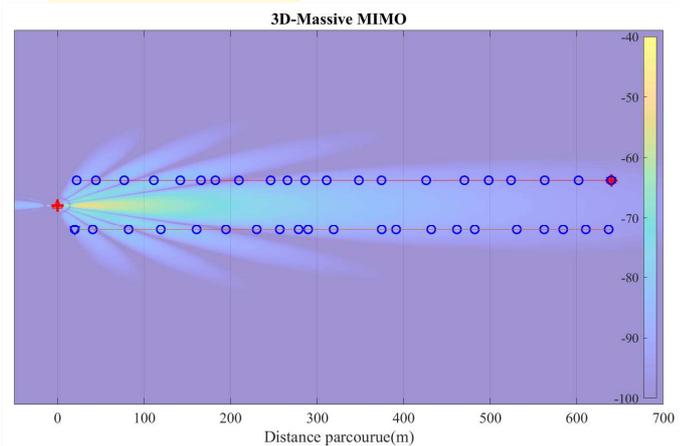


Figure 20 : Puissance de signal transmis par une antenne 3D-Massive MIMO

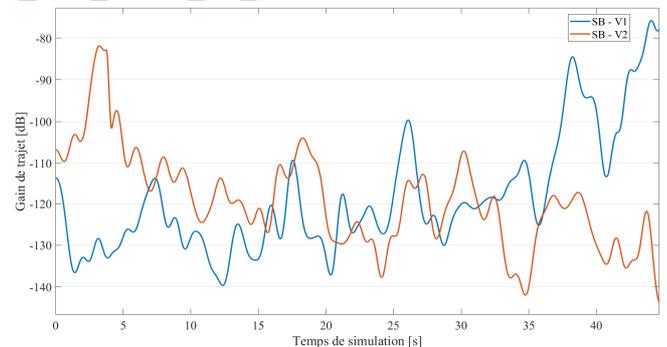


Figure 21 : Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'un système Massive MIMO

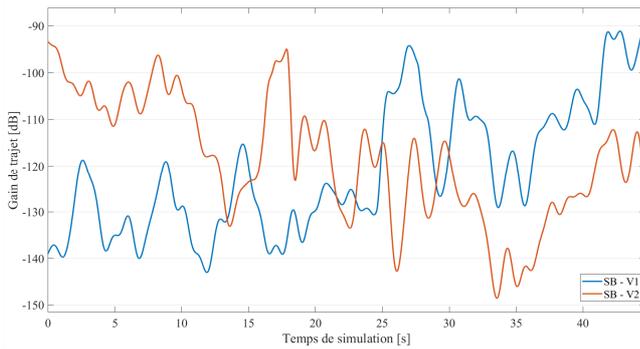


Figure 22 : Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'un système 3D-Massive MIMO

Les figures 21 et 22 montrent la comparaison de performance des systèmes antennaires Massive MIMO et 3D Massive MIMO, dans le cas d'une communication entre véhicule et station de base. On peut voir, à partir de la figure 21 et la figure 22 que l'utilisation d'un système antenneaire 3D-Massive MIMO permet d'avoir un gain de trajet plus élevé par rapport à l'utilisation d'une antenne Massive MIMO. Ce qui signifie que les systèmes 3D-Massive MIMO sont plus performance que les antennes Massive MIMO, en termes de latence.

6. Conclusion

Bien que le fonctionnement à des fréquences d'ondes millimétriques présente des avantages, l'un des inconvénients majeurs est l'affaiblissement du signal sur le trajet. La compensation de l'affaiblissement excessif du système à des fréquences d'ondes millimétriques nécessite un générateur de signaux à puissance de sortie élevée. Pour remédier à ce problème, nous

avons proposé la technique de densification du réseau par le déploiement des petites cellules et l'utilisation des systèmes antennaires 3D-Massive MIMO. Ceux-ci permettent de concentrer individuellement l'énergie radio dans le but de renforcer le gain de signal en direction des utilisateurs et tout en garantissant une large bande passante. Ce qui est très important, dans le cas des Internet des Objets (IoT), car cela permet de garantir une communication massive à faible temps de latence et donc un débit plus élevé.

6. Bibliographies

- [1] Stephan Jaeckel, "*Quasi-Deterministic Channel Modeling and Experimental Validation in Cooperative and Massive MIMO Deployment Topologies*", 2017
- [2] J.C. Liberti, T.S. Rappaport, "*A geometrically based model for line-of-sight multi-path radio channels*", in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, 1996
- [1] P. Marsch Ö. Bulakçı, O. Queseth, M. Boldi, "*5G System Design Architectural and Functional Considerations and Long-Term Research*", Wiley, 2018
- [2] K. V. Arya, R. S. Bhadoria, N. S. Chaudhari, "*Emerging Wireless Communication and Network Technologies*", Springer, 2018
- [5] V. C. M. Leung, H. Zhang, X. Hu, Q. Liu, Z. Liu, "*5G for Future Wireless Networks*", ICST Institute for Computer Sciences, 2019