

## Modélisation et évaluation de performance d'un réseau 5G véhiculaire utilisant un système 3D-MASSIVE MIMO

*Randriamiadana Z.A<sup>1</sup>, Randriamitantsoa P. A<sup>2</sup>, Randriamitantsoa A. A.<sup>3</sup>*

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

*<sup>1</sup> aarlovah@yahoo.fr, <sup>2</sup> rpauguste@gmail.com, <sup>3</sup> andriau23@gmail.com*

### Résumé

L'Internet des objets (IoT) est une composante majeure de la transformation digitale. À travers l'IoT, on recherche le potentiel des nouvelles technologies du monde numérique et leurs impacts dans l'amélioration du monde réel. S'appuyant sur le « transport intelligent », l'Internet des véhicules (IoV) est en train d'évoluer en tant que nouveau thème de recherche et développement. L'IoV comprend cinq types de communications véhiculaires ; à savoir, véhicule à véhicule, véhicule à route, véhicule à infrastructure, véhicule à personnel et véhicule à capteurs. Dans un autre cas, les systèmes MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) du réseau 4G actuel sont capables de s'adapter uniquement dans l'azimut. Récemment, la tendance est d'améliorer les performances du système en exploitant les degrés de liberté du canal en élévation, ce qui nécessite la caractérisation des canaux 3D par l'utilisation du système antenne 3D-Massive MIMO. C'est ainsi qu'une modélisation mathématique et une

évaluation des performances du réseau véhiculaire 5G, utilisant un système 3D-Massive MIMO, sont présentés dans cet article.

**Mot clés :** 5G, IoV, 3D-Massive MIMO, V2V, V2X

### Abstract

Internet of Things (IoT) is smartly changing various existing research areas into new themes including smart-health, smart-home, smart-industry and smart-transport. Relying on the basis of 'Smart-Transport', Internet of Vehicles (IoV) is evolving as a new theme of research and development. The IoV includes five types of vehicular communications; namely, Vehicle-to-Vehicle, Vehicle-to-Roadside, Vehicle-to-Infrastructure of cellular networks, Vehicle-to-Personal devices and Vehicle-to-Sensors. Furthermore, Multiple-input-multiple-output (MIMO) systems of current 4G network are capable of adaptation in the azimuth only. Recently, the trend is to enhance system performance by exploiting the channel's degrees

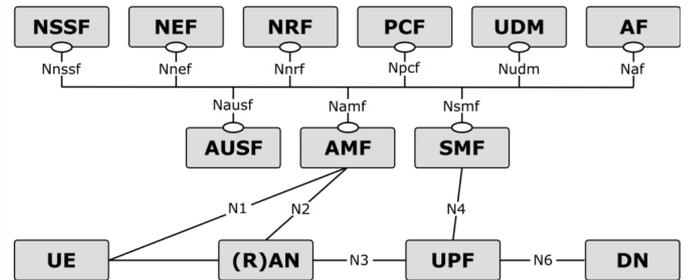
of freedom in the elevation, which necessitates the characterization of 3D channels by the use of 3D-Massive MIMO antenna system. Thus, a mathematical model and a performance evaluation of 5G vehicular network using a 3D-Massive MIMO system is presented in this article.

**Keywords:** 5G, IoV, 3D-Massive MIMO, V2V, V2X

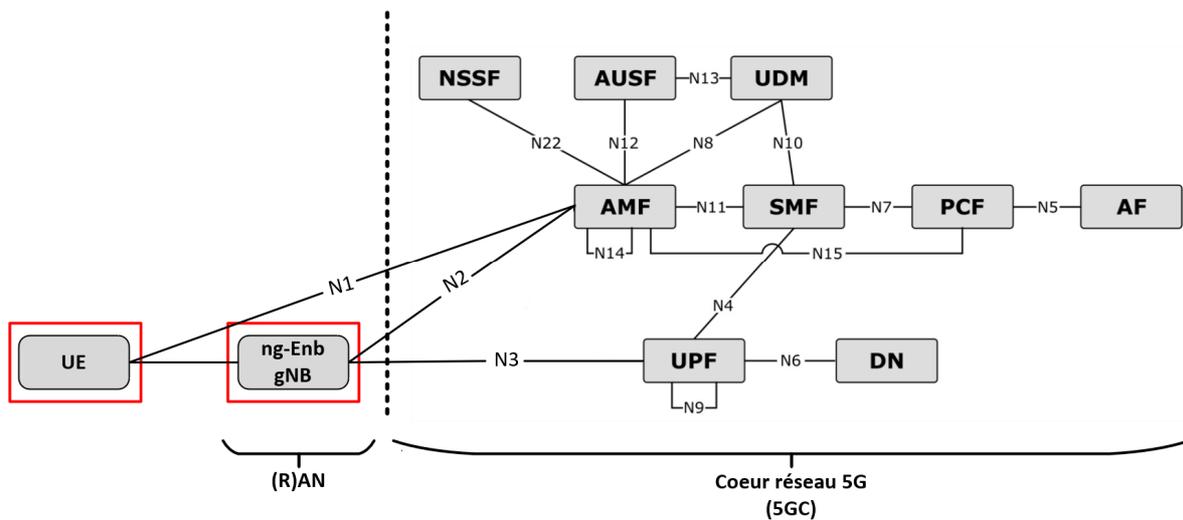
### 1. Architecture générale d'un réseau 5G

L'architecture globale du réseau de télécommunication 5G se compose d'un accès Radio ou Next Generation RAN (NG-RAN) et d'un réseau coeur ou 5G Core (5GC) [1] [2].

La Figure 01 illustre l'architecture générale d'un réseau 5G et la Figure 02 représente les points de références de l'architecture du système.



**Figure 01 :** Architecture générale d'un réseau 5G



**Figure 02 :** Architecture 5G et interfaces entre entités

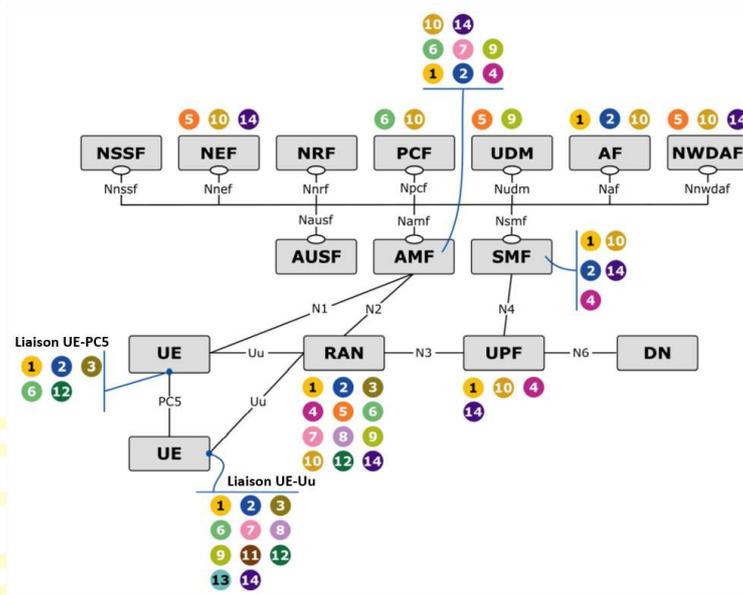
AF: Application Function  
 AMF: Access and Mobility Management Function (MME)  
 AUSF: Authentication Server Function  
 NEF : Network Exposure Function  
 NRF: Network functions Repository Function  
 NSSF: Network Slice Selection Function

PCF: Policy Control Function  
 SMF: Session Management Function  
 UDM : Unified Data Management  
 DN: Data Network  
 UPF: User Plane Function (S/PGW)  
 RAN: Radio Access Network  
 UE: User Equipment

Les travaux de recherche que nous développons dans cette thèse se rapportent aux blocs en rouge de l'architecture 5G de la Figure 02 et dont la principale application est l'Internet des véhicules.

## 2. Architecture générale d'un réseau 5G dans le cas de l'Internet des véhicules

La Figure 03 représente l'architecture 5G pour l'Internet des Véhicules [4].



**Figure 03 :** Architecture 5G pour l'Internet des véhicules

La liste complète des composants techniques correspondant à l'architecture du système représenté précédemment, est représenté par le Tableau 01.

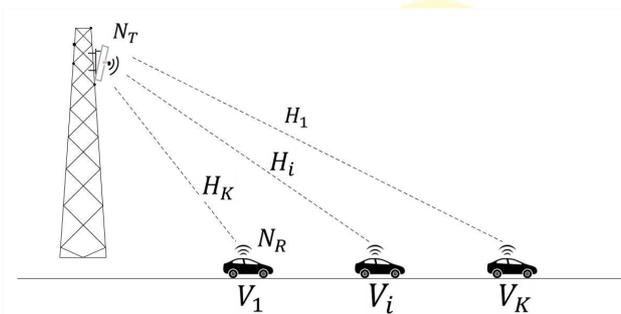
**Tableau 01 :** Composants technique de l'Internet des véhicules

	Composants technique (CT)	Application
1	RSU pour Zone Intelligent (SM-Zone)	Procédure réseau
2	Installation d'une application rapide d'avertissement	Procédure réseau
3	Multi-connectivité SL et Uu	Coopération multi-connectivité
4	Processus d'avertissement de localisation	Procédure réseau
5	Infrastructure en tant que service (IaaS) pour le domaine véhiculaire	Orchestration et management

6	Mode redondance PC5 et Uu	Coopération multi-connectivité
7	Evolution d'une infrastructure de communication pour localiser les trafics V2X	Procédure réseau
8	Cas d'utilisation multi-RAT et liaison de connectivité multiple	Coopération multi-connectivité
9	Solutions multi opérateur et liaison de connectivité multiple	Procédure réseau
10	Solutions multi-opérateur pour les V2X	Procédure réseau
11	Négociation de service V2X	Edge-Computing
12	Edge computing dans les réseaux cellulaires V2X	Coopération multi-connectivité
13	Sélection dynamique pour les modes de communications PC5 et Uu	Securité point-à-point
14	Evolution du cœur réseau 5G pour l'edge computing basé sur la mobilité	Edge-Computing

## 1. Modèle du système de communication véhiculaire 5G

Soit un réseau de communication entre objets ou IoT avec un point d'accès AP et un nombre  $K$  d'objets comme décrits sur la Figure 4.05, où l'accès point AP, qui est une station de base gNB équipé d'un nombre  $N_T$  d'antennes émettrices et que chaque objet est équipé d'un nombre  $N_R$  d'antennes réceptrices.



**Figure 04 :** Modèle du système de communication de l'Internet des véhicules

## 3. Modélisation du rayonnement d'antenne 3D-Massive MIMO d'un véhicule

La réponse impulsionnelle du canal du modèle de rayonnement d'antenne MIMO, représenté par la figure 04, est donné par :

$$h(t) = \sum_{j=1}^N a_j(t) \cdot v(\beta_A, \beta_E) \quad (1)$$

Avec  $a_j$  l'amplitude complexe

$v(\beta_A, \beta_E)$  le vecteur de dépointage des rayons d'antennes

$N$  le nombre total d'antenne à large bande

$\beta_A$  l'angle d'azimut

$\beta_E$  l'angle d'élévation

Sur ce, le vecteur de dépointage est donné par :

$$v(\beta_A, \beta_E) = \begin{pmatrix} 1 \\ e^{jm} \\ e^{j2m} \\ \dots \\ e^{j(W-1)m} \end{pmatrix} [1, e^{jp}, \dots, e^{j(L-1)p}] \quad (2)$$

Avec  $m = k_w d_x \cos \beta_A \cos \beta_E$

$p = k_w d_y \cos \beta_A \cos \beta_E$

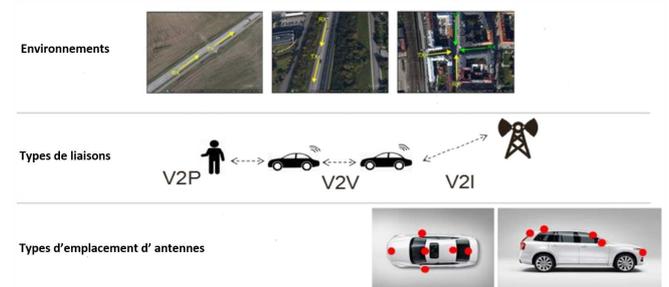
$k_w = 2\pi/\lambda$

$\lambda$  la longueur d'onde

$d_x$  et  $d_y$  représente respectivement l'espacement entre les éléments d'antennes rayonnant sur l'axe de  $x$  et de  $y$

## 4. Différents types de liaisons et d'environnements de propagation

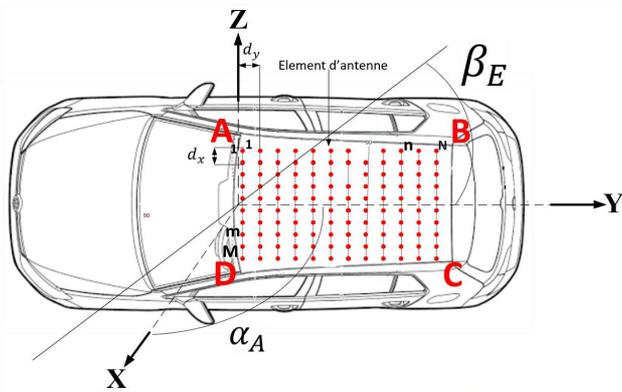
Dans le cas de l'internet des véhicules, les plus importants objets qui influence la propagation des ondes sont les buildings, les véhicules et les différents types de végétation. Différents scenarios, liaison, types de véhicules, et l'état principal de propagation, pour la modélisation du canal de communication véhiculaire, sont décrit sur la Figure 02.



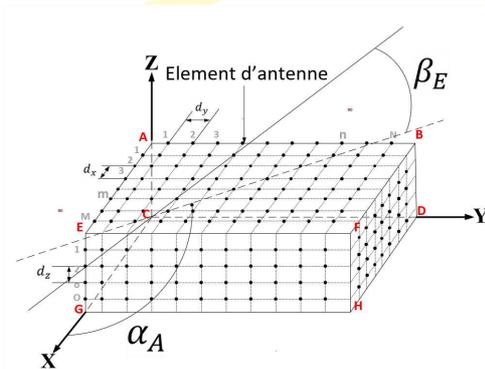
**Figure 05 :** Types de liaisons et d'environnements de propagation

## 5. Modélisation du canal 3D-Massive MIMO appliqué à l'Internet des véhicules

La Figure 04 représente la technique de disposition des éléments d'antenne 3D-Massive MIMO dans le cas de l'application au communication véhiculaire. Ici, nous avons proposé d'installer une antenne 3D-Massive MIMO avec une formation de faisceau virtuel en trois dimensions, qui sera placé sur le toit d'une voiture. Ce système est illustré par la Figure 06 et Figure 07.

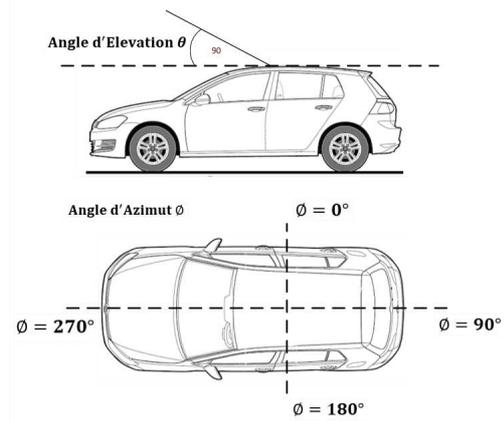


**Figure 06 :** Réseau d'antenne 3D-Massive MIMO installé sur une voiture



**Figure 07 :** Représentation des éléments d'antenne 3D-Massive MIMO

La Figure 08 ci-dessous représente les référentiels angulaires en azimut et en élévation, en fonction de l'orientation du véhicule.



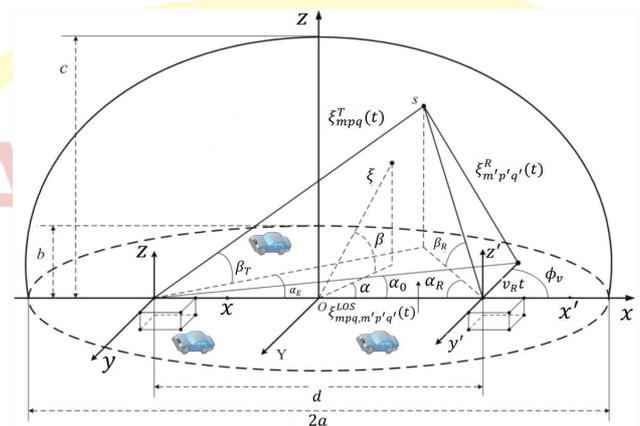
**Figure 08 :** Référentiels angulaire en azimut et en élévation d'une antenne 3D-Massive MIMO

A partir de la représentation du réseau d'antenne et du canal de transmission sur la Figure 04, la matrice du canal  $H(t)$  de dimension  $M \times N$  est donné par [3] :

$$H(t) = [h_{N_T N_R}(t, \tau)]_{M \times N} \quad (3)$$

Avec  $N_T = 1, \dots, M$  le nombre d'antenne émetteurs

$N_R = 1, \dots, N$  le nombre d'antenne récepteurs



**Figure 09 :** Représentation des éléments d'antenne 3D-Massive MIMO

Dans le cas d'un trajet à visibilité direct ou LOS, la distance entre l'antenne émetteur et l'antenne récepteur est donné par :

$$d_{n_t, m' n' o'}^{LOS}(t) = \sqrt{(m' d_{x'} - m d_x + v_R t \sin \phi_v)^2 + (o' d_{y'} - o d_y + v_R t \cos \phi_v)^2} \quad (4)$$

Pour les composants NLOS, la distance entre la  $mno$ <sup>ième</sup> antenne émettrice et la  $m' n' o'$ <sup>ième</sup> antenne réceptrice à un temps  $t$  est donné par :

$$d_{mno}^T(t) = \frac{1}{2k_1} \times \left( -k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4k_1 k_3} \right) \quad (5)$$

Avec

$$k_1 = b^2 c^2 \cos^2 \beta_T \cos^2 \alpha_T + a^2 c^2 \cos^2 \beta_T \sin^2 \alpha_T + a^2 b^2 \sin^2 \beta_T \quad (6)$$

$$k_2 = 2b^2 c^2 p d_y \cos \beta_T \cos \alpha_T - d b^2 c^2 \cos \beta_T \cos \alpha_T + 2a^2 c^2 m d_x \cos \beta_T \sin \alpha_T \quad (7)$$

$$k_3 = \left( \frac{D}{2} - p d_y \right)^2 b^2 c^2 + a^2 c^2 (m d_x)^2 + a^2 b^2 c^2 \quad (8)$$

Il est à savoir que la distance du  $m' n' o'$ <sup>ième</sup> antenne réceptrice vers le diffuseur à la station mobile SB peut être exprimé en fonction de l'angle d'arrivé au niveau du SM. Dans ce cas, l'expression des angles d'arrivé  $\alpha_R$  et  $\alpha_R$  au niveau du récepteur peut être remplacé par les angles de départ  $\alpha_E$  et  $\alpha_E$ .

Sur ce, la distance du  $m' n' o'$ <sup>ième</sup> antenne et la SB est donné par :

$$d_{m' n' o'}^T(t) = \sqrt{\frac{(d_{mno}^T(t))^2 + d_{mno, m' n' o'}^2(t) - 2d_{mno}^T(t) \cos \beta_T \cos(\alpha_T - \alpha_0)}{d_{mno, m' n' o'}(t) \cos \beta_T \cos(\alpha_T - \alpha_0)}}$$

La réponse impulsionnelle du modèle de canal V2V, qu'on peut utiliser afin de caractériser les propriétés physiques de l'environnement sans fil est une superposition des composants multi-trajets avec différents amplitudes  $a_{l, n_t n_r, n}(t)$ , phases  $\psi_{l, n_t n_r, n}$ , fréquence de doppler

$$f_{d, 1, n_t n_r, n}(t), \text{ EAAD } \alpha_{T, n_t, l, n}(t), \text{ EAED } \beta_{T, n_t, l, n}(t), \text{ EAAA } \alpha_{R, n_r, l, n}(t) \text{ et EAEA } \beta_{R, n_r, l, n}(t).$$

Du point de vue de la station de base, la position angulaire de l'utilisateur  $k$  relative à l'antenne est représentée sous la forme d'un vecteur de taille  $M \times N$ . Un tel vecteur, aussi appelé vecteur de dépointage, représente le déphasage subit par un signal incident sur chaque antenne du réseau d'antennes et exprimé en fonction des angles  $\alpha_A$  et  $\beta_E$ .

En réalité, il décrit le déphasage relatif entre chaque antenne à partir d'une antenne de référence et il est donné par :

$$a(\alpha_A, \beta_E) = \left[ a_1(\alpha_A, \beta_E), a_2(\alpha_A, \beta_E), \dots, a_{mno}(\alpha_A, \beta_E), \dots, a_N(\alpha_A, \beta_E) \right] \quad (11)$$

Avec  $a_{mno}(\alpha_A, \beta_E)$  représente le déphasage du  $n$   $n_r$ -ième élément d'antenne qui peut être défini tel que  $m$ -,  $n_t$ - et  $n_r$ -ième élément d'antenne le long de l'axe  $x$ -,  $y$ - et  $z$ -, c'est-à-dire  $m = 1, 2, \dots, M$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$  et  $o = 1, 2, \dots, O$ .

Alors, le nombre total des éléments d'antenne du système 3D-Massive MIMO V2V est donné par :

$$N_T = MN + 2NO + 2MO \quad (12)$$

$$a(\alpha_A, \beta_E) = \text{vec} \left( \begin{bmatrix} 1 \\ e^j \\ e^{j2m} \\ \dots \\ e^{j(W-1)m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1, e^{jn_t}, \dots, \\ e^{j(L-1)n_t} \end{bmatrix} \right) \quad (13)$$

Avec  $m = k_w d_x \cos \alpha_A \cos \beta_E$   
 $n_t = k_w d_y \cos \alpha_A \cos \beta_E$   
 $k_w = \frac{2\pi}{\lambda}$   
 $\lambda$  représente la longueur d'onde  
 $d_x$  et  $d_y$  représentent respectivement l'espace entre les éléments d'antennes parallèle sur l'axe des  $x$  et de  $y$ .

Pour le cas d'un réseau d'antenne 3D Massive MIMO V2V, les antennes large bande sont situés sur chaque surface du véhicule et les signaux incidents sont transmises sur divers directions. Ce qui entraîne que, le retard  $a_{mno}(\alpha_A, \beta_E)$  des signaux envoyés l'émetteur sont vraiment différentes lorsque les éléments d'antenne  $mpq$  changent de valeurs, c'est-à-dire que  $mno = 1, 2, \dots, N_T$ .

Le retard de trajet,  $a_{mno}(\alpha_A, \beta_E)$ , est donné par :

$$a_{mno}(\alpha_A, \beta_E) = \left\{ \begin{array}{l} \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w n d_y \sin \alpha_A \\ \cos \beta_E + j k_w H \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w (M-1) d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w n d_y \sin \alpha_A \\ \cos \beta_E + j k_w (o - MN) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w n d_y \sin \alpha_A \cos \beta_E + j k_w \\ (o - MN - NO) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w \\ (o - MN - 2NO) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w N d_y \sin \alpha_A \\ \cos \beta_E + j k_w (o - MN - 2NO - MN) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \end{array} \right.$$

$$a_{mno}(\alpha_A, \beta_E) = \left\{ \begin{array}{l} \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w \\ n d_y \sin \alpha_A \cos \beta_E + j k_w H \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w (M-1) d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w n d_y \\ \sin \alpha_A \cos \beta_E + j k_w (o - MN) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w n d_y \sin \alpha_A \cos \beta_E + j k_w (o - MN - NO) d_z \\ \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w (o - MN - 2NO) d_z \\ \sin \beta_E \end{array} \right\} \\ \exp \left\{ \begin{array}{l} jk_w m d_x \cos \alpha_A \beta_E + j k_w N d_y \sin \alpha_A \\ \cos \beta_E + j k_w (o - MN - 2NO - MO) d_z \sin \beta_E \end{array} \right\} \end{array} \right.$$

La réponse impulsionnelle du canal s'écrit donc :

$$h(t) = \sum_{j=1}^{N_T} \alpha_j(t) \cdot a(\alpha_A, \beta_E) \quad (14)$$

avec  $\alpha_j(t)$  l'amplitude  
 $a(\alpha_A, \beta_E)$  le vecteur de déphasage  
 $N_T$  le nombre total des antennes  
 $\alpha_A$  l'angle d'azimut  
 $\beta_E$  l'angle d'élévation

En utilisant l'équation (14), la réponse impulsionnelle complexe (RIC) du canal, entre le  $n_t$ -ième antenne émettrice et le  $n_r$ -ième antenne

réceptrice du canal 3D-MIMO V2V est donc donné par :

$$h_{l,n} n_r(t) = \sum_{n=1}^N e^{j\left(\psi_{l,n_t n_r,n} - \frac{2\pi f_c D_{l,n_t n_r,n}(t)}{c}\right)} N_C \times e^{j2\pi f_{d,l,n_t n_r,n}(t)}$$

Avec

$a_{l,n_t n_r,n}(t)$  représentant l'amplitude

$\psi_{l,n_t n_r,n}$  représentant la phase

$D_{l,n_t n_r,n}(t)$  représentant la distance du  $l^{\text{ième}}$  trajet dans le  $n^{\text{ième}}$  cluster

$N_C$  représentant le nombre total de cluster et  $c$  la célérité de la lumière.

$e^{j\left(\psi_{l,pq,n} - \frac{2\pi f_c D_{l,n_t n_r,n}(t)}{c}\right)}$  représentant la fréquence de Doppler causé par le mouvement de déplacement du station mobile

La fréquence de Doppler est donnée par :

$$e^{j\left(\psi_{l,n_t n_r,n} - \frac{2\pi f_c D_{l,n_t n_r,n}(t)}{c}\right)} = \frac{j2\pi v_T}{e^{\lambda \cos(\alpha_{T_{n_t,l,n}}(t) - n_T) \cos \beta_{T_{n_t,l,n}}(t)}} \times e^{j2\pi v_R / \lambda \cos(\alpha_{R_{n_r,l,n}}(t) - n_R) \cos \beta_{R_{n_r,l,n}}(t)} \quad (15)$$

Avec  $\alpha_{T_{n_t,l,n}}(t)$ ,  $\beta_{T_{n_t,l,n}}(t)$ ,  $\alpha_{R_{n_r,l,n}}(t)$  et  $\beta_{R_{n_r,l,n}}(t)$  représentent respectivement, la variation de l'angle d'azimut au départ, l'angle d'élévation au départ, l'angle d'azimut à l'arrivé et l'angle  $\lambda$  la longueur d'onde  $v_T$  et  $v_R$  représentent respectivement la vitesse de déplacement de M et de N

$n_T$  et  $n_R$  la direction de M et de N

## 6. Fonctions de densité de probabilité des angles d'arrivée

La fonction de densité de probabilité des diffuseurs est donnée par :

$$PDF(d, \alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \times \exp\left(\frac{-d^2}{2\sigma^2}\right) \quad (16)$$

Les coordonnées polaires et cartésiennes du diffuseur sont respectivement  $(d, \alpha, \beta)$  et  $(X, Y, Z)$ . Et les coordonnées sphériques de la station de base sont représentées par  $(d_{mno}^T, \alpha, \beta)$ .

La fonction de densité de probabilité de  $f(X, Y, Z)$  est donné par :

$$FDP(X, Y, Z) = |J(X, Y, Z)| PDF(d, \alpha, \beta) \quad (17)$$

Avec  $J(X, Y, Z)$  est jacobien de la transformation inverse.

Par conséquent, la fonction de densité de probabilité des angles d'arrivée est :

$$FDP(d_{mn_t n_r}^T(t), \alpha_T, \beta_T) = \frac{\left(d_{mn_t n_r}^T(t)\right)^2 \cos \beta_T}{2\pi\sigma^2} \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \times (d_{mn_t n_r}^T(t) \sin \beta_T)^2} \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \times (d_{mn_t n_r}^T(t) \cos \beta_T \cos \alpha_T - d/2)^2} \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \times (d_{mn_t n_r}^T(t) \cos \beta_T \sin \alpha_T)^2} \quad (18)$$

## 7. Résultats des simulations

### 7.1 Puissance de signal d'une antenne 3D-Massive MIMO

Les conditions de propagation de signal dépendent basiquement de la différence entre la hauteur de l'antenne émetteur et du récepteur [6]. Le modèle de propagation que nous allons utiliser est représenté par la Figure 04, dans un environnement urbain et en considérant que les multi-trajets sont dû à l'effet du sol.

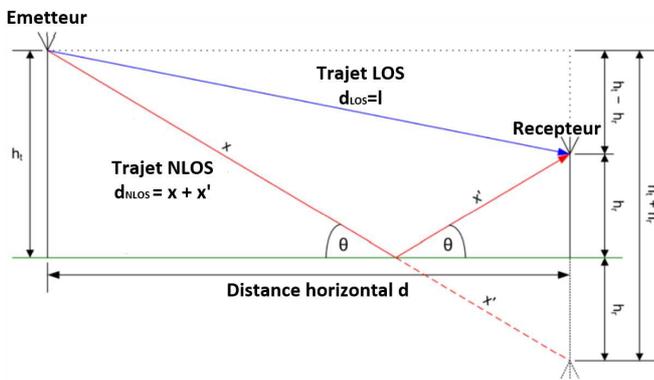


Figure 10 : Modèle de propagation de signal

La puissance de signal  $P_r$  reçu est donné par :

$$P_r = P_t * G_r * \frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2} * 4[\sin((2\pi * H_t * H_r)/(\lambda * D))]^2 \quad (19)$$

Et comme  $D^2 \gg (2\pi * H_t * H_r)/\lambda$

Alors, on a :

$$P_r = P_t * G_r * (H_t * H_r)^2 / D^4$$

Avec :  $G_r$  le gain d'antenne à la réception

$\lambda$  la longueur d'onde

$D$  Distance entre émettrice et récepteur

Les conditions prise en compte pour une fréquence inférieur à 6GHz sont représentées dans le Tableau 01[1].

Tableau 02 : Paramètres pour une bande < 6GHz

	Hauteur(m)	EIRP (dBm)	Gain (dBpi)
gNB	25	46	18
Antenne du véhicule	1.5	33	4

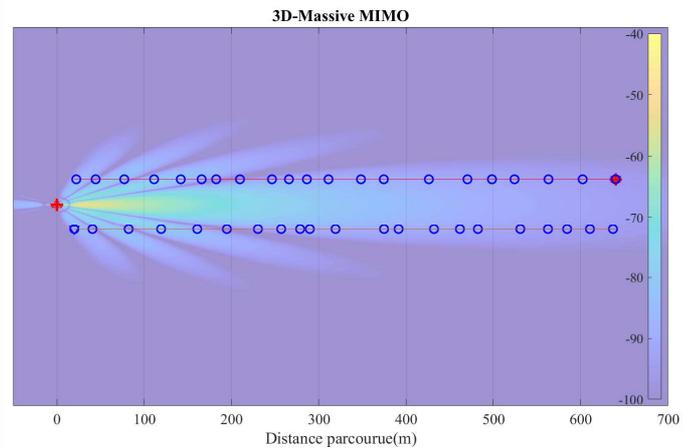


Figure 11 : Propagation de signal d'un système 3D-Massive MIMO

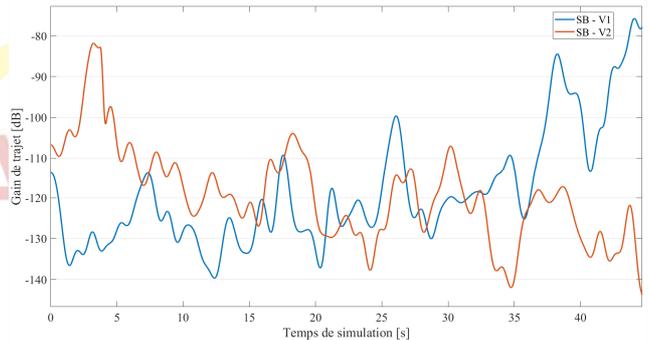
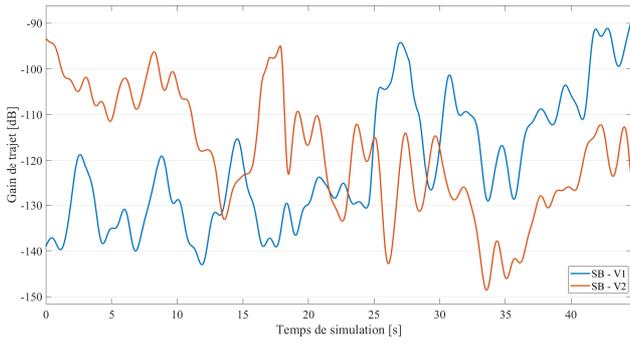
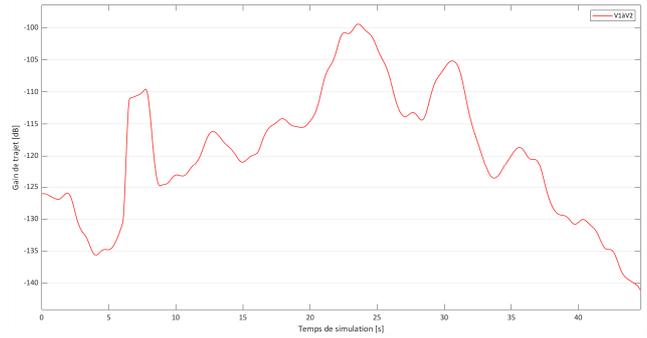


Figure 12 : Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne 3D-Massive MIMO



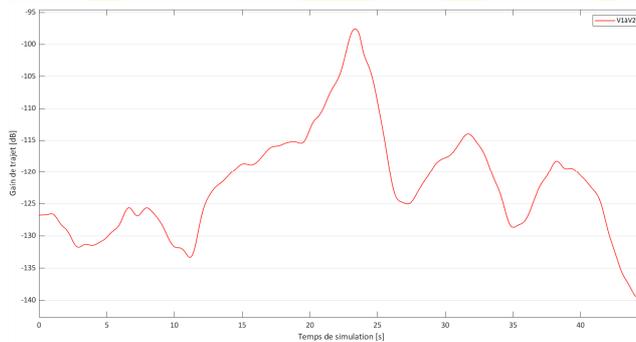
**Figure 13 :** Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne Massive MIMO



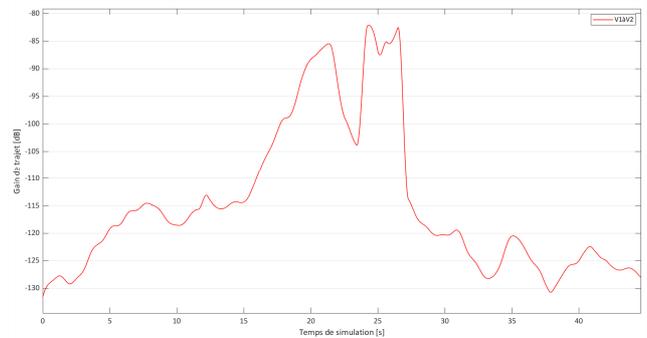
**Figure 15 :** Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne Massive MIMO, pour un trajet NLOS

Les Figure 04 et Figure 05 montrent que l'utilisation d'un système antenne 3D-Massive MIMO permet d'avoir un signal de puissance plus élevé que pour l'utilisation d'un système Massive MIMO.

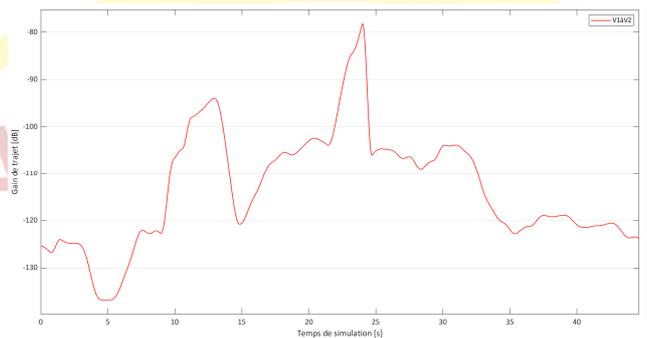
### 8. Performance de signal dans le cas d'une communication entre véhicule



**Figure 14 :** Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne Massive MIMO, pour un trajet LOS



**Figure 16 :** Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne 3D-Massive MIMO, pour un trajet LOS



**Figure 17 :** Gain de trajet dans le cas de l'utilisation d'une antenne 3D-Massive MIMO, pour un trajet NLOS

**Tableau 03 :** Récapitulatif des résultats des simulations

Conditions de mesure			Gain de trajet(dB)	
Env.	Zone	$f$ (GHz)	Massive MIMO	3D-Massive MIMO
UMa	LOS	5,9	-82	-98
	NLOS		-78	-100

Le tableau 03 montre la qualité de la puissance de signal reçue, en fonction de la distance entre le véhicule émetteur et du véhicule récepteur. Nous pouvons constater qu'au fur et à mesure que la distance entre les deux véhicules augmente, la puissance du signal diminue progressivement. Par contre, la puissance du signal devient maximale quand la distance entre les deux véhicules est minimale. A part cela, on peut constater que l'utilisation d'une antenne 3D-Massive MIMO permet d'avoir un gain de signal plus élevé.

## 9. Conclusion

Dans ce travail, nous avons d'abord présenté l'architecture générale du réseau de télécommunication 5G pour ensuite présenter l'architecture du réseau 5G pour une communication véhiculaire. Une modélisation mathématique du canal de transmission 3D-Massive MIMO ainsi qu'une proposition de la disposition de l'antenne 3D Massive MIMO sur un véhicule a été présenté. Les différents

mesures et simulations nous ont permis de conclure que l'utilisation des systèmes 3D-Massive MIMO présente beaucoup plus d'avantages que l'utilisation des systèmes Massive MIMO. En fin, il est à savoir que les applications de l'Internet des Objets dans le domaine véhiculaire restent encore très vagues.

## 10. Références

- [1] Y. Wu, H. Huang, C. Wang, Y. Pan, "5G Enabled Internet Of Thing", CRC Press,2019
- [2] E. Dahlman, S. Parvall, J. Sköld, " 5G NR: The Next Generation Wireless Access ", Academic Press, 2018
- [3] Hao Jiang Guan Gui, "Channel Modeling in 5G Wireless Communication Systems", Springer, 2020
- [4] Laurent Gallo (Orange), Massimo Condoluci (Ericsson), " Final Design and Evaluation of the 5G V2X System Level Architecture and Security Framework"