

Principes fondamentaux de la modélisation de la technologie de télécommunication mobile 5G.

Ramasondrano A.¹, Randriamitantsoa A. A.², Randriamitantsoa P. A.³

Laboratoire de Recherche Télécommunication, Automatique, Signal et Images
(LR-T.A.S.I.)

Ecole Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation
(ED – STII)

Ecole Supérieure Polytechnique Antananarivo

Université d'Antananarivo

BP 1500, Ankatso – Antananarivo 101 – Madagascar

¹*ram.imanja@gmail.com*,² *andriau23@gmail.com*,³*rpauguste@gmail.com*

Résumé

La croissance exponentielle du trafic de réseaux mobiles durant ces dernières années qui est marquée par l'utilisation des appareils mobiles comme les smartphones, tablettes, laptops et les apparitions des technologies de cloud, ainsi qu'avec les autres appareils sans fil. Cette demande est la future génération de réseaux de communication sans fil qu'on appelle 5G. Dans cet article, nous nous concentrons sur les principaux modèles des réseaux 5G par l'approche stochastique qui sont des outils théoriques pour les réseaux cellulaires.

Mots clés : PPP, BPP, Hetnet, Iot, Massive MIMO, Ondes millimétriques, 5G.

Abstract

The exponential growth of mobile network traffic in recent years, which is characterized by the use of mobile devices such as smartphones, tablets, laptops and the appearance of cloud technology, as well as

other wireless devices. This demand is the next generation of wireless communication networks called 5G. In this article, we focus on the main models of 5G networks by the stochastic approach which are theoretical tools for cellular networks.

Keywords: PPP, BPP, Hetnet, Iot, Massive MIMO, Millimeter Waves, 5G

1. Introduction

Afin de voir les modèles que la cinquième génération nous réserve, nous nous appuyerons sur les concepts d'Hetnet, d'IoT ou Internet of Things ou Internet des Objets, de Massive MIMO et d'Ondes millimétriques.

2. Indicateurs des performances des réseaux sans fil 5G

Les indicateurs de performance dans le système de transmission de réseau sans fil varient selon les critères de performances voulus. La fonction de génération de moment (MGF) et les moments des distributions, la fonction de génération de probabilité (PGFL),

les autres paramètres pour la liaison descendante comme le rapport signal à interférence plus bruit (SINR), le rapport signal sur bruit par bit (SNR), la probabilité de coupure, Probabilité de communication sécurisée.

2.1 Rapport signal bruit plus interférence

Le SINR est généralement pour un récepteur situé à un certain point r dans l'espace, le SINR est exprimé par :

$$SINR \triangleq \frac{hr^{-\alpha}}{\sigma^2 + I_r} \quad (1)$$

Où :

$$I_r \triangleq \sum_{i \in \Phi / b_0} g_i R^{-\alpha} \quad (2)$$

2.2 Rapport Signal sur Bruit

Le rapport *signal* sur bruit ou Signal-to-Noise Ratio (SNR) est une mesure de la performance d'une transmission obtenue à travers le niveau où P_S et P_N représentent respectivement la puissance exprimée en Watt (W) du signal émis et du bruit qui affecte la transmission.

2.2 Probabilité de couverture et de coupure

La probabilité de coupure P_{out} est la probabilité que le SNR d'un canal soit inférieur ou égal à un seuil dépendant du réseau. Elle est définie par :

$$P_{out} = P(SNR \leq t) \quad (3)$$

2.2.1 Probabilité de coupure

La *probabilité de coupure* P_{out} est la probabilité que le SNR d'un canal γ soit inférieur ou égal à un seuil t fixé à l'avance tel que la transmission ne soit possible. Elle est définie par :

$$P_{out} = P(\gamma \leq t) \quad (4)$$

Théorème 1.01 :

$$P_{out}(\lambda, T, \alpha, S, L, \gamma) = 1 - \pi\lambda \int_0^\infty \int_0^{S/L} e^{-\pi\lambda v \beta(T, \alpha) - \mu(e^T - 1) \sigma^2 v^{\alpha/2}} f_{pop}(f, \gamma) dfv \quad (5)$$

Où $\beta(T, \alpha)$ est donné par :

$$\beta(T, \alpha) = \frac{2(\mu(e^T - 1))}{\alpha} E_g \left[g^{\frac{2}{\alpha}} \left(\Gamma\left(-\frac{2}{\alpha}, \mu(e^T - 1)g\right) - \Gamma\left(-\frac{2}{\alpha}\right) \right) \right] \quad (7)$$

Avec $\Gamma(\alpha, x) = \int_x^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ est la fonction gamma supérieure incomplète et

$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$ la fonction gamma.

Démonstration :

Supposons que la station de base la plus proche à une distance r de l'utilisateur typique, la probabilité de coupure peut être écrite comme suit :

$$P_{out}(\lambda, T, \alpha, S, L, \gamma) = 1 - E_r[\ln(1 + SINR) > T, f_0 \in \Delta_{b_0}|r|] \quad (8)$$

Comme les attentes sont un opérateur linéaire et ces deux événements sont indépendants,

l'expression ci-dessus peut être décomposée comme suit :

$$P_{out}(\lambda, T, \alpha, S, L, \gamma) = \underbrace{1 - E_r[P[\ln(1 + SINR) > T|r]]}_{(a)} \underbrace{[E_r[f_0 \in \Delta_{b0}|r]]}_{(b)} \quad (9)$$

On va décomposer terme par terme on aura

(a) :

$$\begin{aligned} E_r[P[\ln(1 + SINR) > T|r]] &= \int_{r>0} P[\ln(1 + SINR) > T|r] f_r(r) dr \\ &= \int_{r>0} P[\ln(1 + SINR) > T|r] e^{-\pi\lambda r^2} 2\pi\lambda r dr \\ &= \int_{r>0} P\left[\frac{hr^{-\alpha}}{\sigma^2 + I_r} > e^T - 1|r\right] e^{-\pi\lambda r^2} 2\pi\lambda r dr \\ &= \int_{r>0} \underbrace{P[h > r^\alpha(e^T - 1)(\sigma^2 + I_r)|r]}_{(c)} e^{-\pi\lambda r^2} 2\pi\lambda r dr \end{aligned}$$

où $f_r(r) = e^{-\pi\lambda r^2} 2\pi\lambda r$ est le PDF de r pour PPP, par conséquent, (a) découle de sa substitution. L'expression dans (b) est obtenue en branchant la formule SINR et en la laissant sur le côté gauche de l'inégalité, (c) est le résultat de certaines manipulations algébriques pour maintenir la variable h de décoloration. Conditionnement sur I_r et utilisation du fait que $h \sim \exp(\mu)$, la probabilité d'une variable aléatoire h dépassant $r^\alpha(e^T - 1)(\sigma^2 + I_r)$ peut-être écrite comme suit :

$$\begin{aligned} P[h > r^\alpha(e^T - 1)(\sigma^2 + I_r)|r] &= E_{I_r}[P[h > r^\alpha(e^T - 1)(\sigma^2 + I_r)|r, I_r]] \\ &= E_{I_r}[\exp(-\mu r^\alpha(e^T - 1)(\sigma^2 + I_r)|r,)] \\ &= e^{-\mu r^\alpha(e^T - 1)\sigma^2} \mathcal{L}_{I_r}(\mu r^\alpha(e^T - 1)) \end{aligned}$$

Où $\mathcal{L}(s)$ est la transformée de Laplace de la variable aléatoire I_r évaluée sur s conditionnée sur la distance de la station de base la plus proche de l'origine.

2.2.2 La probabilité de couverture

La probabilité de couverture P_c est la probabilité que le SNR soit supérieur au seuil SNR:

$$P_c = P(SNR > t) = 1 - P_{out} \quad (9)$$

2.2.3 Capacité de canal

Dans le cas de canal point à point, l'interférence créée par d'autres émetteurs est considérée comme du bruit. Lorsque le bruit est traité comme gaussien, la loi de la capacité du canal Shannon est alors déterminée par celle du SNR à travers la formule de Shannon (en bits par seconde):

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (10)$$

Où B est la bande passante du canal en Hertz.

2.2.4 Capacité d'Ergodic

La capacité d'Ergodic est définie comme la moyenne de la capacité instantanée d'un canal de bruit blanc additif de Gauss, qui peut être exprimée par :

$$C = \mathbb{E}[\text{Blog}(1 + \text{SINR})] = \int_{t=0}^{\infty} \mathbb{P}[\text{Blog}(1 + \text{SINR}) > t] dt = \int_{t=0}^{\infty} \mathbb{P}[\text{SINR} > e^{t/B} - 1] dt \quad (11)$$

2.2.5 Rendement moyen réalisable

On définit le rendement moyen réalisable par :

$$\bar{R}(\theta) = \mathbb{E}[\text{Blog}(1 + \text{SNR} \setminus \text{SNR} > \theta)] \quad (12)$$

Où θ est le seuil SNR. Le débit moyen possible est défini sous l'état d'une transmission réussie.

3 Réseaux hétérogènes

Afin d'augmenter la capacité mobile 5G, nous allons densifier son déploiement en utilisant un grand nombre de cellules couvrant de petites surfaces dit « small cells ». L'ensemble forme le réseau hétérogène [3].

3.1 Topologie réseau hétérogène

Un processus ponctuel est défini comme un type de processus aléatoire utilisé pour décrire une collection de points, dont chacun est localisé dans le temps et dans l'espace géographique. Il existe plusieurs classes de processus ponctuel telles que les Processus Ponctuels de Poisson ou PPP, les Processus Ponctuels Déterminantaux (DPP) et les Ponctuels de Ginibre ou GPP.

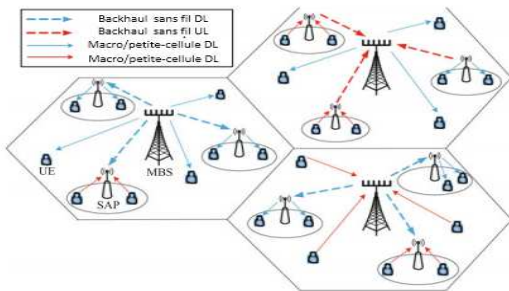


Figure 01 : Un réseau hétérogène [3]

La figure 01 représente un réseau hétérogène de petites cellules à deux niveaux qui se composent de MBS (Station de base macrocellule), SAP (Point d'accès petites cellules) et UE (Equipement utilisateur).

Le rapport de dimensionnalité MIMO pour le traitement linéaire des macrocellules, petites cellules et backhaul est désigné respectivement par :

$$\beta_m = \frac{K_m}{M_m}, \beta_s = \frac{K_s}{M_s}, \beta_b = \frac{K_b M_s}{M_m}$$

3.2 Taux et efficacité énergétique

Le taux de liaison descendante sur une macrocellule est donné par :

$$R_m^{DL} = (1 - \zeta_b) \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2 z}}{z \ln 2} (1 - e^{-z v_m^D}) \exp\left(\frac{-2\pi^2 \tilde{\lambda}_u P_{ut}^\delta \mathbb{E}[S_D^\delta] z^\delta}{\alpha \sin(\frac{2\pi}{\alpha})}\right) * \exp(-\tau_m a_m \mathcal{C}_{\alpha, K_m}(z P_{mt}, t) \left(\frac{z P_{mt}}{K_m}\right)^\delta - \tau_s a_s \mathcal{C}_{\alpha, K_s}\left(\frac{z P_{st}}{K_s}\right)^\delta) f L_m(t) dt dz \quad (13)$$

où $\delta = \frac{2}{\alpha}$, $a_m = \lambda_m \pi \mathbb{E}[S_D^\delta]$, $a_s = \lambda_s \pi \mathbb{E}[S_D^\delta]$, $\tilde{\lambda}_u = (1 - \tau_m) \lambda_m K_m + (1 - \tau_s) \lambda_s K_s$, tels que v_m^D , $f L_m(t)$, et $\mathcal{C}_{\alpha, K}(z, t)$ sont donnés par :

$$v_m^D = \frac{P_{mt}(1 - \beta_m)(G_m)^{\frac{\alpha}{2}}}{\beta_m \Gamma(1 + \frac{\alpha}{2})} \quad (14)$$

$$f L_m(t) = G_m \delta x^{\delta-1} \exp(-G_m x^\delta), \quad x \geq 0 \quad (15)$$

$$C_{\alpha,K}(z, t) = \sum_{n=1}^K \frac{2}{\alpha} \binom{K}{n} [B(1; K - n + \frac{2}{\alpha}, n - \frac{2}{\alpha}) - B((1 + \frac{s}{tK})^{-1}; K - n + \frac{2}{\alpha}, n - \frac{2}{\alpha})] \quad (16)$$

Avec $G_m = a_m + a_s(\frac{P_{st}}{P_{mt}})^\delta$, et Le taux de LE Le taux de liaison montante sur une macro-cellule est donné par :

$$R_m^{UL} = (1 - \zeta_b) \int_0^\infty \frac{\int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\frac{zv_m^U}{t}})}{ze^{\sigma^2 z \ln 2}} \exp\{-\tilde{\lambda}_u \pi \mathbb{E}[S_D^\delta]\} \int_0^\infty \frac{1 - e^{-G_m u}}{1 + \frac{z^{-1} u^\delta}{P_{ut}}} du}{\Gamma(1+\delta) \delta \pi^2 z^\delta \sin(\delta \pi)} \left[\frac{\tau_m a_m P_{mt}^\delta \prod_{i=1}^{K_m-1} (i+\delta)}{\Gamma(K_m) K_m^\delta} + \frac{\tau_s a_s P_{st}^\delta \prod_{i=1}^{S-1} (i+\delta)}{\Gamma(K_s) K_s^\delta} \right] jL_m(t) dt dz \quad (17)$$

avec $v_m^U = (1 - \beta_m) M_m P_{mt}$

Le taux de liaison descendante sur une petite cellule est donné par :

$$R_s^{DL} = \int_0^\infty \frac{(1 - \zeta_b)}{ze^{\sigma^2 z \ln 2}} \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{z P_{st} t^{-1}}{K_s}\right)^{\Delta_s}} \right) \exp\left(\frac{-2\pi^2 \tilde{\lambda}_u P_{ut}^{\frac{2}{\alpha}} \mathbb{E}\left[S_D^{\frac{2}{\alpha}}\right] z^{\frac{\delta 2}{\alpha}}}{\sin\left(\frac{2\pi}{\alpha}\right)}\right) \quad (18)$$

$$* \exp\left(-\tau_s a_s C_{\alpha,K_s}(z P_{st}, t) \left(\frac{z P_{st}}{K_s}\right)^\delta - \tau_m a_m C_{\alpha,K_m}(z P_{st}, t) \left(\frac{z P_{mt}}{K_m}\right)^\delta\right) fL_s(t) dt dz$$

Où $\Delta_s = M_s - K_s + 1$ et $fL_s(t)$ est donné par :

$$fL_s(t) = G_s \delta x^{\delta-1} \exp(-G_s x^\delta), x \geq 0 \quad (19)$$

$$\text{avec } G_s = a_s + a_m (P_{mt}/P_{st})^\delta \quad (20)$$

Le taux de liaison montante sur une petite cellule est donné par :

$$R_s^{UL} = (1 - \zeta_b) \int_0^\infty \frac{1}{ze^{\sigma^2 z \ln 2}} \left[1 - \int_0^\infty \frac{fL_s(t) dt}{(1 + z P_{ut} t^{-1})^{\Delta_s}} \right] \exp\{-\tilde{\lambda}_u \pi \mathbb{E}[S_D^\delta]\} \int_0^\infty \frac{1 - e^{-G_s u}}{1 + \frac{z^{-1} u^\delta}{P_{ut}}} du \frac{\Gamma(1+\delta) \delta \pi^2 z^\delta}{\sin(\delta \pi)} - \left[\frac{\tau_m a_m P_{mt}^\delta \prod_{i=1}^{K_m-1} (i+\delta)}{\Gamma(K_m) K_m^\delta} + \frac{\tau_s a_s P_{st}^\delta \prod_{i=1}^{S-1} (i+\delta)}{\Gamma(K_s) K_s^\delta} \right] dz \quad (21)$$

Le taux de liaison descendante sur le backhaul sans fil est donné par :

$$R_b^{DL} = \frac{\zeta_b M_s}{K_s} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2 z}}{z \ln 2} (1 - e^{-z v_b^D}) \exp(-\tau_b a_b \mathcal{C}_{\alpha, K_b} M_s(z P_{mb}, t) \left(\frac{z P_{mb}}{K_b M_s}\right)^\delta) * \exp\left(\frac{\Gamma(1+\delta) \delta \pi^2 z^\delta P_{sb}^\delta}{\sin(\delta \pi) \Gamma(M_s) M_s^\delta} \mathbb{E}[S_B^\delta]\right) (1 - \tau_b) \lambda_s \prod_{i=1}^{M_s-1} (i + \delta) fL_b(t) dt dz \quad (22)$$

où $a_b = \lambda_m \pi \mathbb{E}[S_B^\delta]$, $fL_b(t)$ et v_b^D sont donnés par :

$$fL_b(t) = a_b \delta t^{\delta-1} \exp(a_b t^\delta), t > 0 \quad (23)$$

$$v_b^D = \frac{P_{mb}(1-\beta_b) a_b^\delta}{\beta_b \Gamma(1+1/\delta)} \quad (24)$$

Le taux de liaison montante sur le backhaul sans fil est donné par :

$$fL_s(t) = G_s \delta x^{\delta-1} \exp(-G_s x^\delta), x \geq 0 \quad (19)$$

$$\text{Avec } G_s = a_s + a_m (P_{mt}/P_{st})^\delta \quad (20)$$

$$R_b^{UL} = \frac{\zeta_b M_s}{K_s} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2 z}}{z \ln 2} (1 - e^{-z v_b^U}) \exp\left(-\frac{\tau_b a_b \Gamma(1 + \delta) \delta \pi^2 z^\delta P_{mb}^\delta \prod_{i=1}^{K_b M_s-1} (i + \delta)}{\sin(\delta \pi) (M_s K_b)^\delta \Gamma(M_s K_b)}\right) * \exp\{(1 - \tau_b)$$

$$a_b K_b \sum_{n=1}^{M_s} \int_0^\infty \frac{\left(\frac{z u \frac{1}{\delta} P_{sb}}{M_s}\right)^n (1 - e^{-a_b u})}{\left(1 + \frac{z u \frac{1}{\delta} P_{sb}}{M_s}\right)^{M_s}} du \} fL_b(t) dt dz \quad (25)$$

$$\text{où } v_b^U = (1 - \beta_b) M_m P_{sb} \quad (26)$$

$$R_b^{UL} = \frac{\zeta_b M_s}{K_s} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2 z}}{z \ln 2} (1 - e^{-\frac{z v_b^U}{t}}) \exp\left(-\frac{\tau_b a_b \Gamma(1 + \delta) \delta \pi^2 z^\delta P_{mb}^\delta \prod_{i=1}^{K_b M_s-1} (i + \delta)}{\sin(\delta \pi) (M_s K_b)^\delta \Gamma(M_s K_b)}\right) * \exp\{(1 - \tau_b)$$

$$\left(\frac{M_s}{n}\right) a_b K_b \sum_{n=1}^{M_s} \int_0^\infty \frac{\left(\frac{z u \frac{1}{\delta} P_{sb}}{M_s}\right)^n (1 - e^{-a_b u})}{\left(1 + \frac{z u \frac{1}{\delta} P_{sb}}{M_s}\right)^{M_s}} du \} fL_b(t) dt dz \quad (25)$$

$$\text{Où } v_b^U = (1 - \beta_b) M_m P_{sb} \quad (26)$$

4Internet of Things (IoT)

Tous les appareils, sont dotées d'une certaine forme de calcul et de communication. Il est prédit que les dispositifs interagissent entre eux partageant des objectifs communs à travers un réseau appelé Internet of Things.

4.1 Modèles de réseau IoT

Soit un réseau IoT composé de passerelles IoT et des nœuds IoT comme le montre la figure 1.02. On suppose que les passerelles transmettent à la même puissance P_G et chaque nœud est associé à sa passerelle la plus proche.

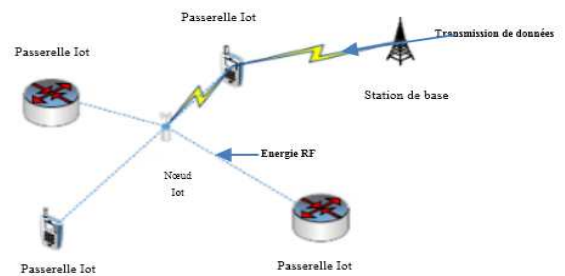


Figure 1.01 : Architecture de réseau IoT

Les nœuds effectuent une transmission de données et une récolte d'énergie RF simultanément, comme le montre la figure 1.03. Après le fractionnement de puissance, la partie des signaux RF séparés par le récepteur d'information est désignée par ε ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), et celle de la récolte d'énergie est $1 - \varepsilon$. Le bruit blanc gaussien introduit par l'antenne de réception $n \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$. La récolte d'énergie a une efficacité de conversion η .

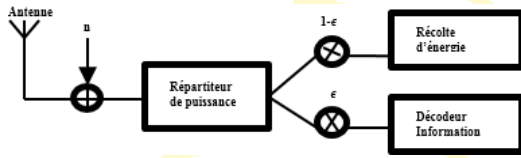


Figure 1.02 : Modèle de réseau Iot

4.1.1 Récolte d'énergie d'un nœud IoT

Cette récolte d'énergie est définie par :

$$P_H = \eta(1 - \varepsilon) \sum_k P_G Q_k^{-\alpha/2} \quad (27)$$

Où $Q_k \sim \text{gamma}(k, \frac{1}{\pi\rho})$, $\rho > 0$ désigne la densité de GPP

4.1.2 SNR d'un noeud IoT

Le SNR d'un noeud IoT connectant à sa passerelle est donné par :

$$SNR = \frac{\varepsilon P_G \{\min_k Q_k\}^{-\alpha/2}}{\varepsilon (\sum_k \varepsilon P_G Q_k^{-\alpha/2} - P_G \{\min_k Q_k\}^{-\alpha/2})} \quad (28)$$

Avec $P_G \{\min_k Q_k\}^{-\alpha/2}$ la puissance reçue d'une passerelle marquée vers un noeud IoT.

4.1.3 Consommation d'énergie à chaque nœud

La consommation d'énergie à chaque noeud est donnée par :

$$P_D = P_O + C_{TX} \{\min_k Q_k\}^{\alpha/2} \quad (29)$$

P_O désigne la dépense de puissance opérationnelle statique et C_{TX} désigne le coefficient constant de proportionnalité de la puissance d'émission RF.

5 Massive MIMO

C'est une nouvelle technologie qui fournira des réseaux large bande plus sécurisés, robustes et efficaces.

Le Massive MIMO est une forme du système MIMO multi-utilisateurs où les stations de bases et le nombre d'utilisateurs sont très nombreux.

5.1 Modèle de canal pour les antennes ULA

On utilise le modèle classique [4] du canal à trajets multiples. Le modèle du canal est défini par :

$$h_{lk}^{(j)} = \frac{B_{lk}^{(j)}}{\sqrt{P}} \sum_{p=1}^P a(\theta_{lkp}^{(j)}) e^{i\varphi_{lkp}^{(j)}} \quad (30)$$

Où P est le nombre de chemins indépendants et identiquement distribués (i.i.d.), $e^{i\varphi_{lkp}^{(j)}}$ est la phase aléatoire i.i.d., et $a(\theta)$ représente le vecteur de direction de la route en provenance de l'angle d'arrivée θ :

$$a(\theta) \triangleq \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-\frac{j2\pi D}{\lambda} \cos(\theta)} \\ \vdots \\ e^{-\frac{j2\pi(M-1)D}{\lambda} \cos(\theta)} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Où λ est la longueur d'onde du signal et D l'espacement d'antenne. $B_{lk}^{(j)}$ est le coefficient de perte de trajet

$$B_{lk}^{(j)} = \sqrt{\frac{\alpha}{a_{lk}^{(j)\gamma}}} \quad (32)$$

γ dénote l'exposant d'atténuation, $d_{lk}^{(j)}$ est la distance géographique entre l'utilisateur et la j-ième station de base et α est une constante.

5.2 Modèle du vecteur de réponse d'un chemin élémentaire d'un réseau aléatoire

Dans ce cas, un chemin élémentaire avec un angle θ peut être représenté par le vecteur de réponse tel que :

$$a(\theta) \triangleq \begin{bmatrix} e^{-\frac{j2\pi d_1}{\lambda} \cos(\theta)} \\ \vdots \\ e^{-\frac{j2\pi d_M}{\lambda} \cos(\theta)} \end{bmatrix} \quad (33)$$

où la position de la m-ième antenne ($1 \leq m \leq M$), d_m , suit une distribution uniforme, i.e., $d_m \sim U(0, D)$.

6 Modèles de système à bande millimétrique

Le réseau de chaque opérateur Φ_m se compose de BS dont les emplacements sont modélisés à l'aide d'un processus de point de Poisson (PPP) avec une intensité λ_m et des utilisateurs dont les emplacements sont répartis comme indépendants PPP avec intensité λ_m^u . Les BS de chaque opérateur peuvent transmettre avec la puissance P_m . On désigne le spectre total par B et on suppose que le m-ème opérateur détient une licence pour un spectre orthogonal de B_m bande passante qu'il peut partager avec d'autres.

Une probabilité qu'un lien soit LOS soit dépendante de x et indépendante des types d'autres liens et est donnée par [5], [6] :

$$p(x) = \exp(-\beta x) \quad (34)$$

6.1 Puissance effective

La bande passante disponible W_n à chaque opérateur est B et l'opérateur interférant est $Q_n = \{1, 2, \dots, M\}$. La puissance effective reçue d'un BS B_{mj} à l'UE est donnée par :

$$P_{mj} = P_{mj}^{avg} G(\theta_{mj}) \quad (35)$$

6.2 Diagramme de rayonnement

On suppose que les BS de chaque opérateur sont équipées d'une antenne orientable ayant un diagramme de rayonnement donné [5]

$$G(\theta) = \begin{cases} G_1 & |\theta| < \theta_b \\ G_2 & \text{autrement} \end{cases} \quad (36)$$

Ici $G_1 \gg G_2$ et θ_b désignent une demi-largeur de faisceau.

6.3 Puissance moyenne reçue

La puissance moyenne reçue provenant du B_{mj} à UE0 sans gain d'antenne est donnée par :

$$P_{mj}^{avg} = P_m l_{s_{mj}}(x_{mj}) \quad (37)$$

6.4 Puissance effective reçue de cette BS

L'opérateur auquel l'utilisateur UE0 s'associe est k et l'indice de la BS de service par i. Étant donné que la BS de service aligne son antenne avec l'utilisateur de sorte que l'angle θ_{ki} entre l'antenne BS de service et la direction de l'utilisateur soit de 0 ° et que la puissance effective reçue de cette BS est

$$P_{ki} = P_k h_{ki} l_{s_{ki}}(x_{ki}) G(0) = P_k h_{ki} l_{s_{ki}}(x_{ki}) G_1 \quad (38)$$

Pour chaque BS B_{mj} interférant pour $m \in Q_k$, l'angle θ_{mj} est supposé être uniformément réparti entre $-\pi$ et π .

7 Conclusion

Nous avons étudié les outils mathématiques fondamentaux des réseaux de télécommunication 5G. On a fait une introduction à la connaissance de la géométrie stochastique, des processus ponctuels et des modèles de canaux utilisés dans l'analyse pour différents composants dans les réseaux 5G. En outre, les définitions de quelques mesures de performance sont brièvement abordées. On s'est également concentré sur la modélisation et l'analyse de l'information simultanée et du transfert d'énergie dans Internet of Things (IoT). On a souligné des propriétés fondamentales des chaînes de massifs MIMO et également des ondes millimétriques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] N. Deng, W. Zhou, and M. Haenggi «*The Ginibre point process as a model for wireless networks with repulsion*, » *Wireless Communications, IEEE Transactions*, Jan 2015.

[2] K. M. R. S. A. Mohamed, « *Digital Communication over Fading Channels – A Unified Approach to Performance Analysis* », 1st ed. Wiley 2000.

[3] Howard H. Yang Tony Q.S. Quek, « *Massive MIMO Meets Small Cell Backhaul and Cooperation* », Springer, August 15, 2016

[4] A. F. Molisch, « *Wireless communications* », Wiley, 2010.

[5] Bai and R. W. Heath Jr. « *Coverage and rate analysis for millimeter wave cellular networks*, » *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 2, pp. 1100–1114, Feb. 2015

[6] T. Bai, R. Vaze, and R. Heath, « *Analysis of blockage effects on urban cellular networks*, » *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 9, pp. 5070–5083, Sept. 2014.