



**HAL**  
open science

## Ajustements statistiques pour l'étude du canal off-body en configuration NLoS à 2,4 GHz

Rizwan Masood, Christian Person, Ronan Sauleau, Patrice Pajusco

► **To cite this version:**

Rizwan Masood, Christian Person, Ronan Sauleau, Patrice Pajusco. Ajustements statistiques pour l'étude du canal off-body en configuration NLoS à 2,4 GHz. Dix-neuvièmes Journées Nationales Micro-ondes, Jun 2015, Bordeaux, France, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01289779

**HAL Id: hal-01289779**

**<https://hal.science/hal-01289779>**

Submitted on 17 Jul 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# XIX<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes

## 3-4-5 Juin 2015 - Bordeaux

Ajustements statistiques pour l'étude du canal off-body en configuration NLoS à 2,4 GHz  
Rizwan Masood<sup>\*\*</sup>, Christian Person<sup>\*</sup>, Ronan Sauleau<sup>†</sup>, Patrice Pajusco<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Lab-STICC UMR CNRS 6285 – CS 83818 – 29238 Brest Cedex 03 – France

<sup>†</sup>IETR UMR CNRS 6164 – Université de Rennes I - Avenue du Général Leclerc – 35042 Rennes – France  
(rizwan.masood@telecom-bretagne.eu: correspondant principal)

### Résumé

Nous étudions ici le canal off-body en configuration NLoS dans la bande des 2,4 GHz. Pour cela, l'une des deux antennes est placée sur un bloc de mousse électromagnétiquement transparent, alors que l'autre antenne est placée soit au milieu de la poitrine d'une personne, soit sur un fantôme liquide équivalent reproduisant les propriétés des tissus humains dans la bande ISM 2,4 GHz. L'étude statistique est basée sur une série de mesures en bande étroite effectuées en environnement indoor représentatif. La distribution la mieux adaptée est estimée en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov. Les résultats obtenus dans les deux cas sont concordants. La distribution de Weibull est recommandée comme meilleur test d'ajustement pour la plupart des scénarios étudiés.

### 1. Introduction

Les systèmes de communications centrés sur le corps (Body-Centric Wireless Communication, BCWC) sont très attractifs pour de nombreuses applications (santé, surveillance, sport, défense, etc.). Un réseau BCWC peut par exemple utiliser des capteurs mesurant des signaux physiologiques (ou d'autres paramètres corporels spécifiques) et transmettre sans fil les données ainsi collectées vers un dispositif central tel qu'un assistant numérique personnel (PDA). Ce dispositif central peut en outre transférer les données vers un point externe, par exemple, la station de base ou un serveur dédié.

Dans ce contexte, un modèle statistique pour le canal « off-body » a été présenté dans [1] dans la bande ULB 3,5-6,5 GHz, et il a été suggéré que les variations du canal à petites échelles peuvent être modélisées par une distribution normale. Une caractérisation de la dynamique des canaux off-body à bande étroite a également été proposée dans [2] à 820 MHz et 2,36 GHz, et il a été montré que, pour la plupart des scénarios étudiés, il est préférable d'utiliser une distribution log-normale pour la modélisation. L'ajustement des distributions pour le canal off-body en bande étroite en liaison directe (LoS, Line of Sight) a été décrit dans [3], et la distribution normale a été retenue comme étant le meilleur ajustement pour les variations à petites échelles du canal LoS.

Dans le travail présenté ici, l'étude menée dans [3] est prolongée pour des scénarios NLoS dans lesquels le corps humain obture la liaison directe Tx/Rx. L'algorithme proposé dans [3] est réutilisé pour sélectionner la distribution garantissant le meilleur ajustement. Cet algorithme se réfère à une approche

systématique pour la sélection du modèle de canal donnant le meilleur ajustement dans des scénarios en temps réel où la distribution des données peut être ajustée de manière très précise par rapport à plus d'une distribution standard, ce qui rend la sélection du meilleur ajustement une tâche très sensible.

### 2. Algorithme et validation théorique

L'algorithme d'ajustement [3] compare les données générées à sept distributions statistiques couramment utilisées pour modéliser l'évanouissement des canaux sans fil i.e., Normale ( $N$ ), Log Normale, ( $LG$ ), Rayleigh ( $R$ ), Weibull ( $W$ ), Gamma ( $G$ ), Exponentielle ( $E$ ) and Nakagami- $m$  ( $NG$ ) [4] (qui peut également se rapprocher la distribution de Rice [2]). La sélection du meilleur ajustement repose sur la méthode du maximum de vraisemblance (MLE) [4] afin d'estimer les meilleurs paramètres d'ajustement de chaque distribution statistique, et le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) [5] est utilisé pour déterminer si les échantillons suivent bien les lois retenues. Enfin, l'algorithme génère deux variables  $h$  et  $p$ , où  $h$  est le résultat du test de l'hypothèse nulle et  $p$  est la probabilité pour un niveau de confiance supposé (95%). Lorsque  $h = 1$ , cela signifie que le test ne respecte pas l'hypothèse nulle et la distribution choisie ne peut être considérée. Lorsque  $h = 0$ , cela implique que l'hypothèse nulle est validée et la probabilité  $p$  est alors considérée. Enfin, le critère retenu pour choisir la fonction de distribution donnant le meilleur ajustement des données empiriques correspond à la valeur maximale de  $p$ . Le schéma Figure 1 [3] présente le principe de l'algorithme d'ajustement.

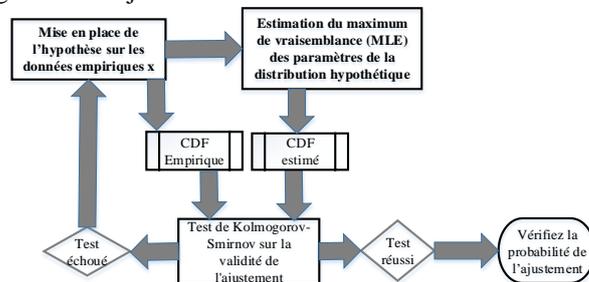


Figure. 1. Algorithme d'ajustement statistique.

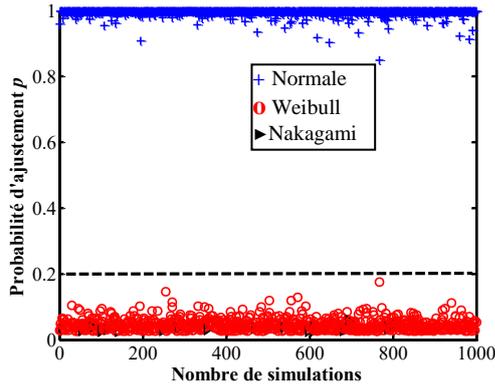
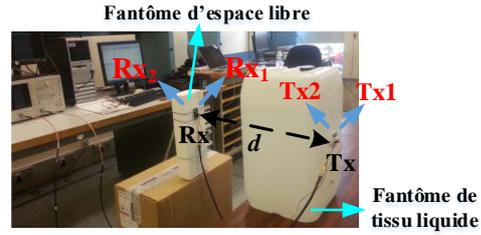
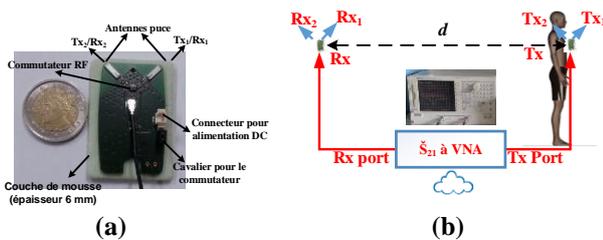


Figure 2. Validation de l'algorithme d'ajustement par des données aléatoires (distribution normale) pour 1000 générations.

La performance statistique de l'algorithme a également été validée en utilisant des données aléatoires ayant une distribution normale générée avec MATLAB®, utilisées ensuite en entrée de l'algorithme. Le générateur de nombres aléatoires a été mélangé 1000 fois. Les valeurs de  $p$  résultant des 1000 simulations de l'algorithme sont présentées sur la Figure 2 uniquement pour les distributions qui ont validé le test (c'est à dire donnant  $h = 0$ ) au cours de la totalité des exécutions successives. Le test K-S a échoué pour les distributions sélectionnées restantes (à savoir,  $h = 1, p = 0$ ). La Figure 2 met en évidence que l'algorithme détecte toujours correctement la distribution normale, sur la base du critère de la valeur maximale de  $p$ . Cela valide l'algorithme développé.

### 3. Dispositif expérimental

Deux capteurs identiques possédant chacun deux antennes miniatures orthogonales (antennes 1 et 2) fonctionnant en bande ISM à 2,4 GHz (dimensions:  $7 \times 2 \times 1,20 \text{ mm}^3$ ) ont été utilisés pour les mesures de canal off-body NLoS (Figure 3). Les deux antennes sont montées en configuration MIMO, ce qui permet d'améliorer la capacité du canal radio par exemple [6]. Les capteurs comprennent un commutateur RF pour sélectionner l'une des deux antennes. Il n'y a pas de plan de masse sous les antennes. Une fine couche de mousse ( $\epsilon_r = 1,07$ ) d'épaisseur 6 mm a été ajoutée sous le capteur pour réduire la désadaptation de l'antenne due à la présence du corps ou du fantôme liquide.



(c) Figure 3. (a) Capteurs Tx / Rx. (b, c) Configuration NLoS off-body pour la mesure du canal en présence du corps humain (b) et avec un fantôme liquide (c).

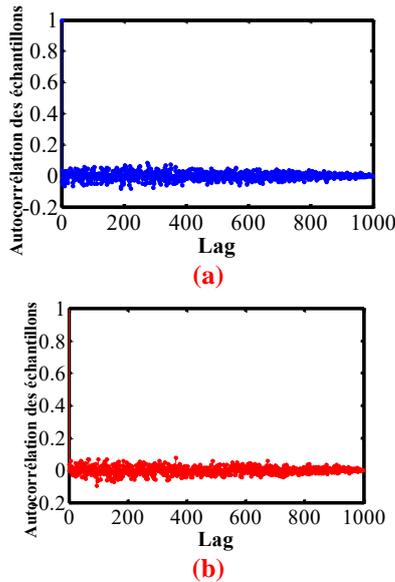
Pour les mesures, le capteur émetteur (Tx) a été placé au centre de la poitrine d'un sujet humain (taille : 178 cm, poids : 74 kg), et le capteur récepteur (Rx) est placé sur un bloc de mousse ( $\epsilon_r \sim 1$ ) ayant une épaisseur de 6 cm pour modéliser un nœud hors corps et à aligner Rx avec Tx. La liaison Tx-Rx est alors entièrement masquée par le corps humain. Les scénarios statiques ont été considérés sans mouvement du corps (sauf les mouvements respiratoires involontaires). Par ailleurs, une même série de mesures a été effectuée en plaçant cette fois-ci le capteur Tx sur un fantôme constitué de liquide dont les propriétés simulent celles des tissus humains dans la bande ISM 2,4 GHz et dont les dimensions sont comparables à celles d'un torse humain ( $44 \times 25 \times 21 \text{ cm}^3$ ). Dans tous les cas, les coefficients de transmission Tx-Rx sont enregistrés en utilisant un analyseur de réseau vectoriel (VNA) pour l'étude des statistiques de canal dans le domaine fréquentiel. Par ailleurs, nous avons aussi étudié d'une part l'influence de la distance  $d$  entre l'émetteur et le récepteur jusqu'à une valeur de 1 m (les valeurs typiques s'étendent jusqu'à 3 m [7]) et d'autre part l'influence du sous-canal  $Tx_i Rx_i$ ,  $i = 1$  ou 2 utilisé (antenne 1 ou 2 à l'émission, et antenne 1 ou 2 à la réception). Les données du canal ISM à 2,40 GHz ont été enregistrées en prenant 1000 points pour chaque mesure (i.e., pour plusieurs sous-canaux  $Tx_i Rx_i$ ,  $i = 1$  ou 2 et de multiples distances  $d$ ).

### 4. Résultats et discussion

Avant d'appliquer l'algorithme d'ajustement, la corrélation entre les échantillons de données mesurées a été étudiée afin d'analyser la pertinence du test K-S. La fonction d'autocorrélation temporelle (ACF) a été calculée avec (1) [8] à savoir,

$$\rho_k = \frac{1}{N c_0} \sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \hat{x})(x_{i+k} - \hat{x}) \quad k = 0, 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

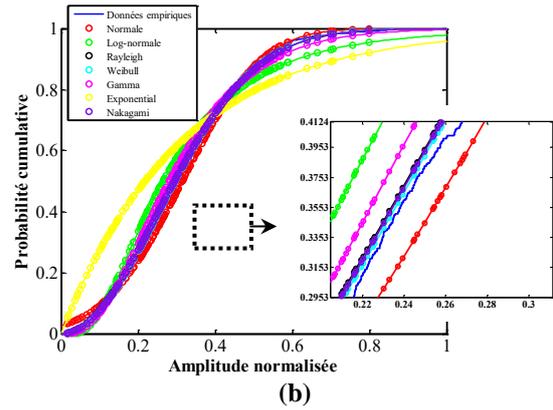
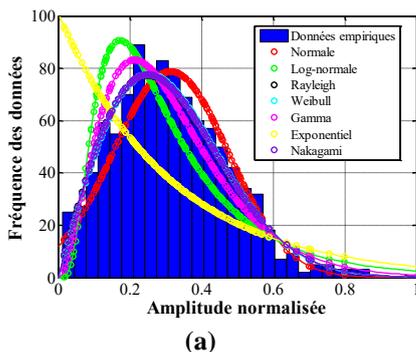
où  $\hat{x}$  correspond à la moyenne des données mesurées  $x$ ,  $N$  est le nombre total d'échantillons de mesure et  $c_0$  est la variance de l'échantillon. A l'aide (1), l'autocorrélation a été calculée pour tous les scénarios de mesure (à la fois pour le sujet humain et le fantôme liquide). Celle-ci beaucoup plus faible que le seuil de 0,7 (en dehors de  $\rho_0 = 1$  qui est évident) fixé, sachant que la corrélation est généralement considérée comme significative pour des supérieures à ce seuil [9].



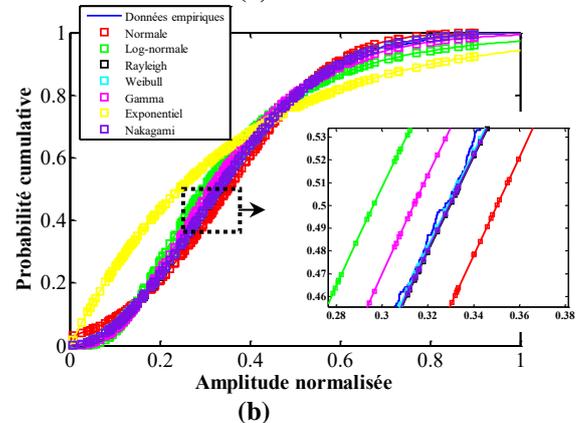
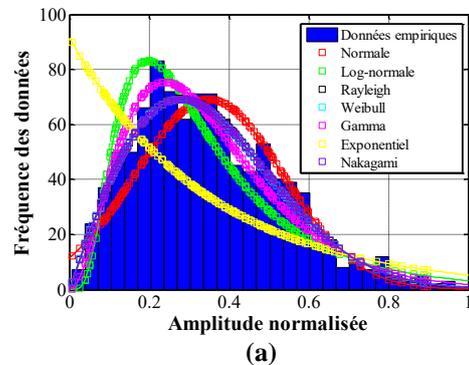
**Figure 4. Autocorrélation empirique pour (a) le canal  $Tx_1Rx_1$  avec le sujet humain et (b) le canal  $Tx_1Rx_1$  avec le fantôme liquide ( $f=2,4$  GHz,  $d=100$  cm).**

Pour référence, les ACF pour le canal  $Tx_1Rx_1$  off-body sont présentés Figure 4 pour une distance Tx-Rx de 100 cm à la fois le sujet humain et le fantôme liquide. Comme on peut le voir sur cette figure, la corrélation entre échantillons est insignifiante. Par conséquent, les échantillons peuvent être considérés comme non corrélés et donc adaptés à l'analyse avec le test d'hypothèse K-S.

Une fois l'auto-corrélation vérifiée, l'ajustement des données du canal a ensuite été étudié en utilisant l'algorithme d'ajustement. L'histogramme des données mesurées ainsi que la densité de probabilité (PDF) et la distribution de probabilité des modèles ajustés pour les deux scénarios de la Figure 4 sont présentés Figure 5 et 6 respectivement. Les deux axes ont été normalisés, i.e., l'axe  $x$  par rapport à l'amplitude et l'axe  $y$  tel que l'aire totale sous les PDF soit unitaire. Les valeurs  $h$  et  $p$  générées par l'algorithme pour les scénarios étudiés sont également répertoriées dans le Tableau 1. Comme le montrent les CDF (encart dans les figures 5 (b) et 6 (b)), le CDF empirique est plus proche de la Weibull CDF. Ceci est correctement détecté par l'algorithme avec une valeur maximale  $p$  de la distribution de Weibull supérieure à toutes les valeurs de  $p$  des autres distributions retenues pour les deux scénarios sur le sujet humain et le fantôme liquide (i.e., 0,707 et 0,795 respectivement, comme indiqué dans le Tableau 1).



**Figure 5. (a) PDF et (b) CDF des données mesurées et ajustements statistiques pour le canal  $Tx_1Rx_1$  avec le sujet humain ( $f=2,4$  GHz,  $d=100$  cm). Les courbes en trait plein correspondent à l'interpolation par splines cubiques fournie par MATLAB.**



**Figure 6. (a) PDF et (b) CDF des données mesurées et ajustements statistiques pour le canal  $Tx_1Rx_1$  avec le fantôme liquide ( $f=2,4$  GHz,  $d=100$  cm). Les courbes en trait plein correspondent à l'interpolation par splines cubiques fournie par MATLAB.**

## 5. Conclusion

Les résultats des Figures 5 et 6 montrent que le canal NLoS off-body peut être modélisé par une distribution de Weibull, tel qu'indiqué dans le Tableau 1. Le modèle proposé est le résultat d'une étude du même scénario pour de multiples sous-canaux ( $Tx_iRx_i$ ,  $i = 1$  ou  $2$ ) avec deux distances et deux sujets différents à savoir, le corps humain et le fantôme. Nous avons montré que le modèle

le plus adapté aux scénarios considérés ici est la distribution de Weibull.

## 6. Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Labex CominLabs dans le cadre du programme de l'Agence Nationale de la Recherche française «Investir pour l'avenir» (ANR-10-LabX-07-01). Les auteurs tiennent à exprimer leurs sincères remerciements aux partenaires de Cominlabs (projet BoWI) pour leurs conseils sur les capteurs utilisés pour les mesures.

## 7. Bibliographie

- [1] A. A. Goulios, T. W. C. Brown, B. G. Evans, S. Stavrou, «Wideband power modeling and time dispersion analysis for UWB indoor off-body communications», IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 57, no. 7, pp. 2162–2171, Jul. 2009.
- [2] D. Smith, L. Hanlen, J. Zhang, D. Miniutti, D. Rodda, B. Gilbert, «Characterization of the dynamic narrowband on-body to off-body area channel», IEEE Int. Conf. on Communications, pp.1-6, Jun. 2009.
- [3] R. Masood, C. Person, R. Sauleau, «Distribution fitting for real-Time off-body channel measurements», IEEE International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications, London UK, Dec. 2014.
- [4] M. Evans, N. Hastings, B. Peacock, *Statistical Distributions*, 2nd ed., Wiley, 1993.
- [5] A. Kolmogorov, «Sulla Determinazione Empirica di una Legge di dDistribuzione», Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, pp. 83-91, 1933.
- [6] R. Masood, R. Burghelea, A. Carer, M. Le Gentil, O. Sentieys, P. Pajusco, C. Person and R. Sauleau, «Indoor off-body channel measurements using miniaturized chip antennas with pattern diversity», European Microwave Conference, Rome (Italy), Oct. 2014.
- [7] D. B. Smith, D. Miniutti, T.A. Lamaheva, L.W. Hanlen, «Propagation Models for Body-Area Networks: A Survey and New Outlook», IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 55, no. 5, pp. 97-117, Oct. 2013.
- [8] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, 1994.
- [9] A. Turkmani, A. Arowojolu, P. Jefford, and C. Kellett, «An experimental evaluation of the performance of two-branch space and polarization diversity schemes at 1800 MHz», IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 44, no. 2, pp. 318-326, May 1995.

Scénario Tx	Canal	Distance $d$ (cm)	Sorties du test K-S	Fonction de distribution						Best-Fit	Paramètres estimés de Best-Fit		
				$N$	$LG$	$R$	$W$	$G$	$E$		$NG$		
Corps Humain	Tx <sub>1</sub> Rx <sub>1</sub>	50	$h$	0	1	0	0	1	1	0	W	$\eta = 0.3564$	$\beta = 2.0059$
			$p$	0.115	0	0.302	0.323	0	0	0.278			
	Tx <sub>1</sub> Rx <sub>1</sub>	100	$h$	0	1	0	0	1	1	0	W	$\eta = 0.3542$	$\beta = 2.0265$
			$p$	0.08	0	0.49	0.707	0	0	0.557			
	Tx <sub>2</sub> Rx <sub>2</sub>	100	$h$	1	1	0	0	0	1	0	W	$\eta = 0.3467$	$\beta = 2.1415$
			$p$	0	0	0.193	0.824	0.046	0	0.78			
Fantôme Liquide	Tx <sub>1</sub> Rx <sub>1</sub>	50	$h$	1	1	0	0	0	1	0	NG	$m = 0.9878$	$\omega = 0.1775$
			$p$	0	0	0.926	0.944	0.04	0	0.979			
	Tx <sub>2</sub> Rx <sub>1</sub>	50	$h$	1	1	0	0	0	1	0	W	$\eta = 0.3748$	$\beta = 2.0290$
			$p$	0	0	0.823	0.917	0.04	0	0.857			
	Tx <sub>1</sub> Rx <sub>1</sub>	100	$h$	1	1	0	0	0	1	0	W	$\eta = 0.3954$	$\beta = 1.9845$
			$p$	0	0	0.652	0.795	0.25	0	0.711			
	Tx <sub>1</sub> Rx <sub>2</sub>	100	$h$	0	1	0	0	1	1	0	W	$\eta = 0.4087$	$\beta = 2.2560$
			$p$	0.029	0	0.036	0.902	0	0	0.525			
	Tx <sub>2</sub> Rx <sub>1</sub>	100	$h$	1	1	0	0	0	1	0	W	$\eta = 0.3386$	$\beta = 1.8723$
			$p$	0	0	0.257	0.781	0.14	0	0.655			

Tableau 1. Résultats statistiques des canaux à 2,40 GHz où  $\eta$ = paramètre d'échelle ,  $\beta$  = paramètre de forme pour Weibull et  $m$  = paramètre de forme,  $\omega$  = paramètre d'échelle pour le Nakagami- $m$ .