



HAL
open science

Technique de caractérisation UWB doublement directionnel

Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Yannick Chartois

► **To cite this version:**

Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Yannick Chartois. Technique de caractérisation UWB doublement directionnel. JNM 2009 : XVIèmes journées nationales micro-ondes, May 2009, Grenoble, France. hal-01912162

HAL Id: hal-01912162

<https://hal.science/hal-01912162v1>

Submitted on 5 Nov 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.

Technique de caractérisation ULB doublement directionnelle

P. Pajusco¹, N. Malhouroux-Gaffet², Y. Chartois²

¹Telecom Bretagne, UMR CNRS 3192 Lab-STICC, Technopôle Brest Iroise, CS 83818, 29238 Brest Cedex

²Orange Labs, 6 av des usines, BP382, 90007 Belfort Cedex

patrice.pajusco@telecom-bretagne.eu

Résumé

L'évolution des systèmes de communication sans fil vers des débits de plus en plus élevés nécessite de disposer de modèles de canaux de transmission de plus en plus complets et exhaustifs. Un dispositif de mesure pour la caractérisation doublement directionnelle du canal de propagation ultra large bande est présenté ici. Ce dispositif de mesure permet de déterminer sans ambiguïté la structure spatio-temporelle du canal de propagation incluant même la polarisation en fonction de la fréquence. Cette technique a été développée pour permettre une véritable déconvolution des antennes du canal de transmission de façon à mener des études fiables sur la modélisation du canal de propagation ULB MIMO, et de pouvoir ainsi approfondir la connaissance des effets de différents paramètres comme la fréquence, la polarisation, la géométrie du réseau sur la capacité.

1. Introduction

L'extension des systèmes sans fil dans de nouveaux environnements ou sur de nouvelles bandes de fréquences induit une modélisation du canal de propagation de plus en plus évoluée incluant les directions d'arrivée et de départ, la polarisation, la fréquence... De nombreuses études ont été réalisées dans ce sens [1, 2]. Toutefois, la connaissance des caractéristiques spatio-temporelles du canal de propagation demeure encore incomplète du fait de la complexité de la mise en œuvre d'expérimentations notamment en ultra large bande (ULB). Comme, l'indique E. Bonek dans [3], il est nécessaire de comprendre les phénomènes physiques sous-jacents afin d'éviter les erreurs induites par des modélisations trop simples.

Dans ce but, un dispositif original de mesure ULB doublement directionnel est présenté. Il propose un compromis intéressant entre précision des résultats et complexité. Il permet de déterminer les directions d'arrivées et de départs en 3 dimensions sans ambiguïté ainsi que la matrice de polarisation en fonction de la fréquence sur toute la bande ULB. La première partie présente l'architecture de l'équipement. La seconde partie s'attache aux problématiques de calibration en ULB. Au final, la dernière partie montre quelques résultats de mesures obtenues en milieu réel.

2. Sondeur doublement directionnel ULB

2.1. Réseau circulaire

Un sondeur de canal doublement directionnel doit être capable d'identifier les directions de départ et d'arrivée de chaque trajet. Idéalement, l'identification ne présente aucune ambiguïté. L'atteinte de cet objectif dépend essentiellement des propriétés du réseau d'antennes utilisé. Pour un même nombre de capteurs, le réseau circulaire est plus performant pour une analyse directionnelle en 3 dimensions [4]. Les réseaux circulaires permettent de dépointer sur 360° en conservant des caractéristiques de faisceaux identiques. Ils permettent également d'obtenir un dépointage en élévation.

Cependant, quand ils sont constitués d'antennes standards, ils présentent quelques inconvénients : ambiguïté haut/bas, impossibilité de dépointer dans la direction des pôles, sensibilité à une seule polarisation, faible résolution verticale dans le plan horizontal. Une étude préliminaire [5] a permis de montrer que l'utilisation d'une structure multiaxes permet de supprimer les défauts tout en s'appliquant en contexte ULB.

2.2. Réseau virtuel hybride

Le capteur ULB est une antenne de type mono-cône adaptée dans la bande 3-12 GHz. Le rapport d'onde stationnaire reste inférieur à 2 sur l'ensemble de la bande. Compte tenu de sa petite taille et de son faible coût, cette antenne peut être placée en réseau. Le diagramme de rayonnement omnidirectionnel de l'élément seul est représenté sur la figure 1. L'énergie est principalement rayonnée dans le demi-plan supérieur avec une directivité qui s'accroît avec la fréquence. La polarisation est principalement verticale. La cross-polarisation est supérieure à 20 dB dans les zones utiles de rayonnement.

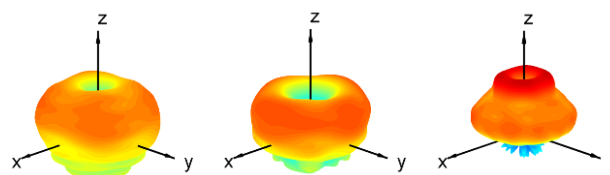


Figure 1. Diagramme de rayonnement (3, 5 et 9 GHz)

Comme il a été montré dans [5], il est judicieux de placer 5 exemplaires du monopôle précédent sur un cube et de l'utiliser dans un réseau virtuel circulaire. Cette géométrie hybride permet de s'affranchir des inconvénients d'un réseau circulaire, en dépointant par exemple dans une direction et une polarisation arbitraire.

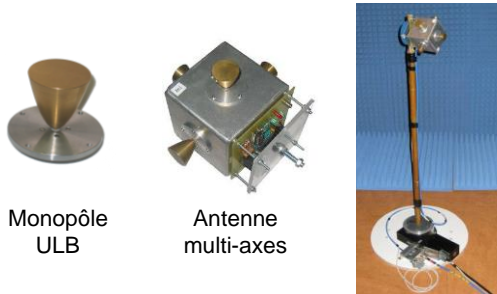


Figure 2. Eléments constitutifs du réseau virtuel

L'ensemble du réseau virtuel est représenté sur la figure 2. L'antenne multi-axes est constituée par un cube métallique supportant les 5 monopôles. Un commutateur RF est intégré dans le cube pour permettre la sélection d'une des antennes. Le réseau cubique est déposé sur un tube qui assure également la rotation de l'antenne. Le positionnement absolu est assuré par d'un moteur pas à pas. Le nombre de positions virtuelles est paramétrable.

2.3. Architecture de l'équipement

Afin d'effectuer des analyses doublement directionnelles en contexte ULB, deux réseaux virtuels ont été réalisés. Le canal de transmission entre chacun des capteurs est mesuré avec un analyseur de réseau vectoriel. L'émetteur et le récepteur sont ainsi reliés par des câbles. Le recours à des amplificateurs faible bruit a été nécessaire pour améliorer le bilan de liaison. Le pilotage des moteurs pas à pas des réseaux virtuels est réalisé par un unique contrôleur. L'ensemble du banc de mesure est piloté par un PC qui assure également la sauvegarde des données de mesure. Le synoptique du sondeur complet est représenté sur la figure 3.

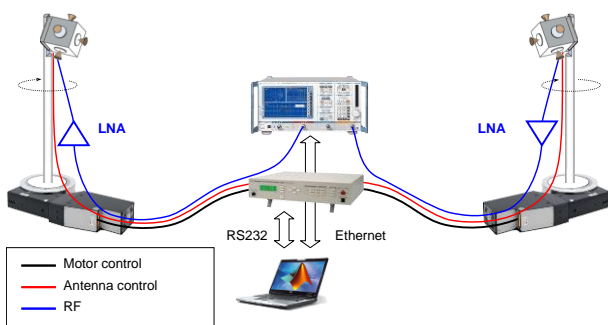


Figure 3. Synoptique du sondeur de canal ULB

Le réseau virtuel d'antennes en réception est situé au plus proche de l'analyseur pour minimiser les pertes câble. Le câble le plus long est utilisé pour le réseau à l'émission. La puissance transmise par l'analyseur de réseau vectoriel est ajustée pour compenser les pertes du câble. Ainsi, l'amplificateur est utilisé au maximum des ces performances en fonctionnant à puissance constante.

2.4. Calibration de l'équipement.

De nombreuses méthodes existent pour estimer les directions d'arrivée. On peut citer les méthodes à haute résolution (SAGE, ESPRIT...) ou les méthodes linéaires (Bartlett, Capon). Dans tous les cas, ces méthodes s'appuient sur une connaissance précise du diagramme de rayonnement du réseau d'antennes. La caractérisation vectorielle d'un diagramme de rayonnement en 3D nécessite une infrastructure conséquente et des temps de mesures importants. De plus, les bases de données des antennes à notre disposition n'étaient pas adaptées à une caractérisation ULB.

Une technique de caractérisation dédiée a été donc mise au point. Elle repose sur le principe de caractérisation en champ lointain en exploitant certaines propriétés de l'équipement. Le réseau virtuel est placé dans une chambre anéchoïque pour éviter les réflexions parasites. Une antenne cornet ULB est utilisée à l'émission. Les caractéristiques du lobe principal en fonction de la fréquence ont été obtenues à partir de mesures différentielles utilisant deux autres cornets.

Le cornet est orienté vers l'antenne multi-axes en respectant la condition de champ lointain. La précision de pointage du cornet de référence est obtenue au moyen de deux lasers. Par une simple rotation de l'antenne en utilisant le moteur pas à pas, on peut relever le rayonnement d'un plan de coupe horizontal. Une simple rotation de 90° du cornet permet de mesurer la polarisation orthogonale. Pour obtenir le rayonnement avec différentes élévations, l'ensemble du dispositif a été surélevé et monté sur un axe. Une photo du dispositif est représentée sur la figure 4. Le monopôle ayant un diagramme relativement continu, l'échantillonnage en élévation a été effectué manuellement tous les 10°. Cette configuration permet de caractériser vectoriellement, en 3D et en quelques heures tous les éléments de l'antenne multi-axes.

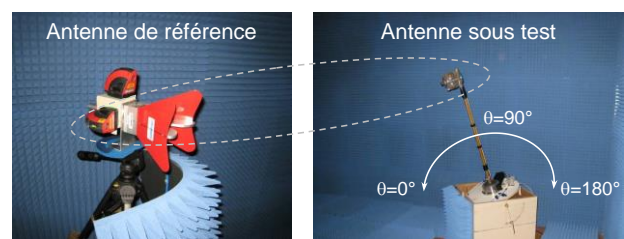


Figure 4. Système de calibration des antennes

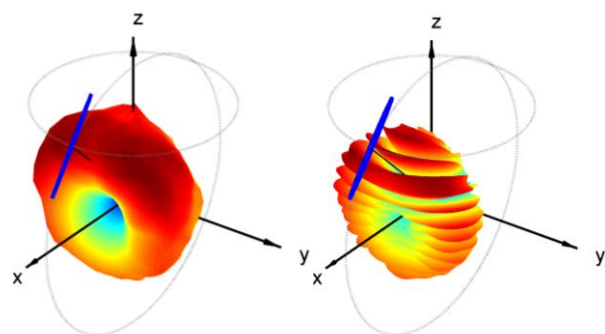


Figure 5. Interpolation avec et sans correction

Derrière cette simplicité apparente se cachent plusieurs obstacles qui ont dû être surmontés. D'une part, la phase absolue est perdue entre chaque élévation. De plus, la distance entre le cornet et l'antenne varie en fonction de l'élévation. Heureusement, la caractérisation en ULB, permet d'obtenir une très bonne résolution temporelle. Cette information a permis de calculer l'offset de phase entre chaque élévation. L'erreur est également minimisée car les deux polarisations doivent conduire à la même correction. La figure 5 montre le résultat de l'interpolation avec et sans cette correction de phase et de distance. Elle illustre l'efficacité de la méthode de correction ainsi que la bonne concordance avec le diagramme de référence de la figure 1.

3. Application du dispositif

3.1. Validation en chambre anéchoïque

Afin de vérifier la capacité du dispositif à d'identifier les caractéristiques (azimut, élévation, amplitude, polarisation) de sources inconnues, une expérimentation a été réalisée en chambre anéchoïque. Deux sources identiques en polarisation verticale ont été placées sur deux positions de référence. La configuration de mesure et les caractéristiques de chaque source sont rapportées sur la figure 6. Les résultats de l'analyse directionnelle à 5 GHz sur les deux trajets de la réponse impulsionnelle sont représentés sur la figure 7.

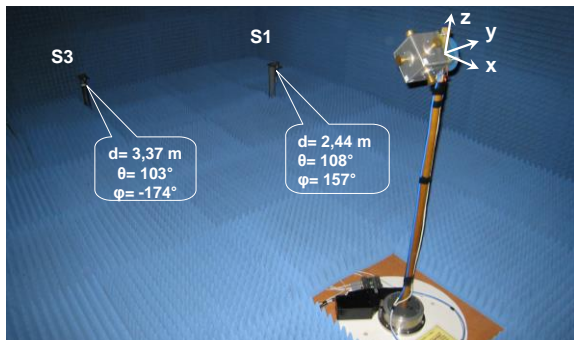


Figure 6. Configuration de validation

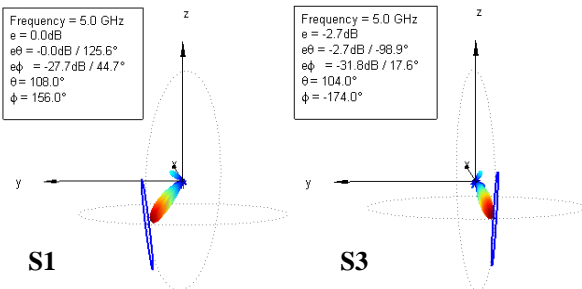


Figure 7. Analyse directionnelle

La polarisation verticale des sources est identifiée. L'erreur d'estimation de l'élévation et de l'azimut de chaque source est inférieure à 2°. Compte tenu de l'écart de distance, la différence d'amplitude est de $20 \log_{10}(3,37/2,44)$ soit 2.8 dB. Ce résultat est en parfait accord avec les amplitudes obtenues par le beamformer. Ces résultats généralisables à d'autres fréquences, confirment la capacité d'analyse directionnelle en ULB de ce dispositif.

4. Caractérisation en milieu réel

4.1. Configuration de mesures

Afin d'étudier le comportement du dispositif en environnement réel, une première expérimentation a été réalisée dans une salle de réunion. L'émetteur et le récepteur sont placés face à face à chaque extrémité d'une table.

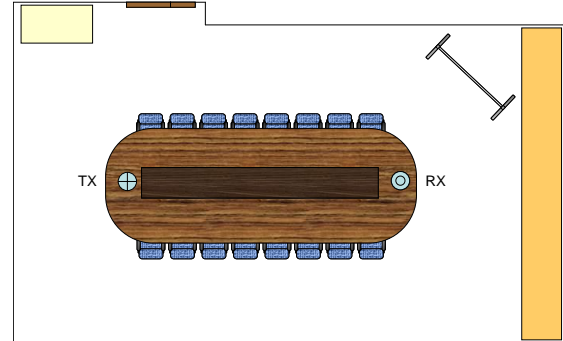


Figure 8. Géométrie de l'environnement

Afin de limiter le temps de mesure, seules 3 des 5 antennes du cube ont été utilisées. Pour respecter l'échantillonnage spatial sur l'ensemble de la bande ULB, 60 points ont été mesurés sur le cercle. Cette configuration correspond à une matrice MIMO de 180x180. Au total, le canal a été mesuré sur 4000 fréquences. La durée de la mesure est de 4 heures et représente 1 Go de données brutes.

4.2. Résultat de mesures

Un exemple des possibilités d'analyse est présenté sur les photos panoramiques sur lesquelles ont été superposées la répartition spatiale de l'énergie (figures 7-9). Elles correspondent à la répartition de l'énergie de part et d'autre de la liaison pour différents temps de retard sélectionnés sur le profil de puissance (figure 9). La photo panoramique de la figure 10 montre la concentration d'énergie due à la réflexion sur la table correspondant au pic 1 de la figure 9. Les photos panoramiques (figure 11) correspondant au temps de retard du pic 2 mettent en évidence l'importance de l'énergie apportée par la réflexion simple sur le tableau blanc métallique. Enfin, pour des temps de retard plus importants correspondant à des phénomènes multiples de réflexion, diffraction, les photos de la figure 12 montrent les nombreuses différentes directions de départs et d'arrivées de l'énergie. De telles analyses peuvent être également réalisées pour différentes polarisations et différentes fréquences.

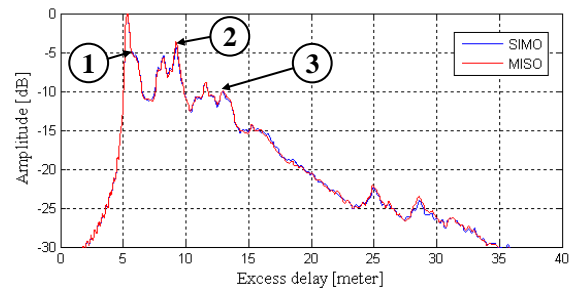


Figure 9. Profil de puissance MISO et SIMO



Figure 10. Répartition spatiale de l'énergie ($\tau=5,2ns$)

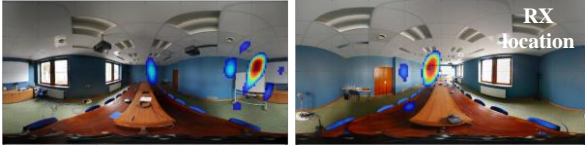


Figure 11. Répartition spatiale de l'énergie ($\tau=9ns$)

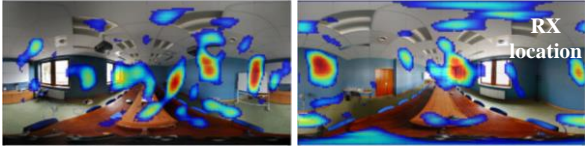


Figure 12. Répartition spatiale de l'énergie ($\tau=13ns$)

4.3. Etude de la capacité

Un des objectifs de la conception de ce dispositif est d'étudier la capacité de systèmes sans fil entre 3 et 10 GHz.

La capacité d'un système MIMO est calculée à partir des valeurs singulières λ_k de la matrice H définie comme étant composée de $n_T \cdot n_R$ termes complexes $h_{i,j}$ correspondant à l'affaiblissement complexe de transmission entre une antenne de réception i et une antenne d'émission j . La capacité d'un système de communication MIMO repose sur la transmission simultanée des données sur les canaux virtuels associés aux valeurs singulières λ_k . Le nombre de canaux virtuels est directement lié au nombre de valeurs singulières significatives de la matrice HH^t . La capacité totale de la transmission MIMO est définie comme la somme de la capacité de chaque canal virtuel. L'expression en fonction du rapport signal à bruit ρ est donnée par :

$$C = \sum_{k=1}^{\min(n_T, n_R)} \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{n_T} \lambda_k \right)$$

A partir des mesures réalisées sur le réseau virtuel 180x180, une étude sur le nombre de valeurs singulières significatives a été effectuée en fonction de la fréquence. Ce nombre n de valeurs significatives est calculé en comptant les n premières valeurs correspondant à 90% de l'énergie totale de la matrice H .

Sur la figure 13, ce nombre augmente avec la fréquence. Ceci est dû à l'amélioration de la résolution du réseau d'antennes quand la fréquence augmente. Cette propriété permet d'identifier des trajets et ainsi d'augmenter le nombre de degrés de liberté.

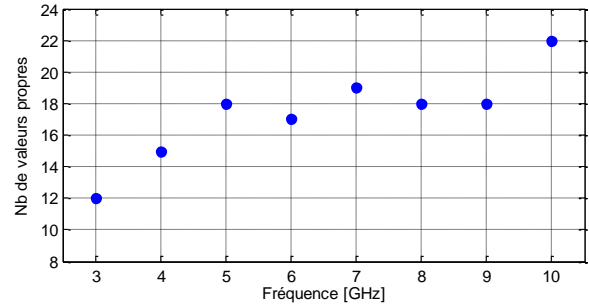


Figure 13. Degré de liberté du canal

Ce dispositif permet donc d'appréhender, la capacité potentielle d'un système MIMO en fonction de la fréquence mais aussi, dans les études futures, en fonction de la polarisation et de la géométrie des réseaux MIMO.

5. Conclusion

Un système original de mesure doublement directionnel et ULB a été présenté. Constitué d'éléments standards, ce dispositif permet d'identifier en fonction de la fréquence les caractéristiques des « rayons » constituant le canal : direction de départ et d'arrivée en 3 dimensions, matrice 2×2 d'atténuations complexes et temps de retard. Le dispositif a été validé en chambre anéchoïque et des résultats préliminaire ont été présenté en configuration intérieur en visibilité.

L'utilisation de cet outil permettra d'approfondir la connaissance du canal ULB MIMO, notamment l'impact de la fréquence et de la géométrie des antennes sur la capacité d'un système de communication MIMO.

6. Bibliographie

- [1] M. Steinbauer, A. F. Molisch, and E. Bonek, "The double-directional radio channel," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 43, pp. 51, 2001.
- [2] www.cost2100.org, "Pervasive Mobile & Ambient Wireless Communications."
- [3] E. Bonek, M. Herdin, W. Weichselberger, and H. Özcelik, "MIMO - Study Propagation First," presented at IEEE International Symposium on Signal Processing and Processing and Information Technology, Darmstadt, 2003.
- [4] P. Ioannides and C. A. Balanis, "Uniform circular and rectangular arrays for adaptive beamforming applications," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 4, pp. 351, 2005.
- [5] P. Pajusco, C. Sabatier, G. Tesserault, and N. Malhouroux, "Novel Array Structure for Space-Time Characterization of the UWB Channel," presented at PIMRC, Cannes, 2008.