Apport des antennes microstructurées dans les systèmes de communication MIMO

Roxana Burghelea, Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Christian Leray

▶ **To cite this version:**

Roxana Burghelea, Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Christian Leray. Apport des antennes microstructurées dans les systèmes de communication MIMO. JNM 2013 : 18èmes Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. hal-00845185

HAL Id: hal-00845185
https://hal.science/hal-00845185

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.

18èmes Journées Nationales Microondes
15-16-17 Mai 2013 - PARIS

Apport des antennes microstructurées dans les systèmes de communication MIMO

Roxana Burghelea[1], Patrice Pajusco[1], Nadine Malhouroux Gaffet[2], Christian Leray[3]

[1]*Institut Mines-Télécom – Télécom Bretagne – Lab-Sticc, 29238 BREST Cedex 3*
[2]*France Télécom, 90007 BELFORT Cedex*
[3]*Time Reversal Communications, 95861 CERGY PONTOISE Cedex*
roxana.burghelea@telecom-bretagne.eu : correspondante principale

Résumé

Ce papier se propose d'évaluer expérimentalement l'apport des antennes microstructurées dans les systèmes de communication MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Un prototype d'antenne miniaturisée à 4 ports, basé sur la technologie des microstructures, est proposé. Dans le but d'évaluer ce nouveau type d'antenne, une comparaison de performance avec des antennes de type patchs a été réalisée. Ces deux prototypes ont été testés lors d'une campagne de mesures MIMO dans un environnement de type indoor, réalisée dans le cadre du projet TRIMARAN. Les résultats de mesures en termes de capacité de canal sont présentés et analysés.

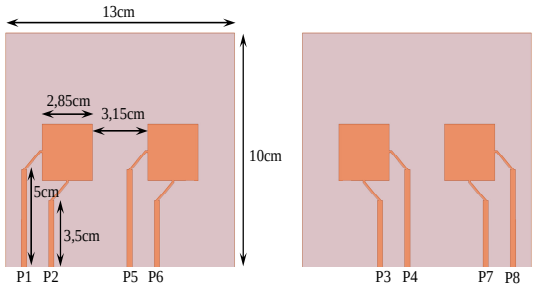
1. Introduction

Les systèmes de transmission de type MIMO (Multiple Input Multiple Output), ont créé une véritable rupture technologique en permettant d'augmenter significativement la capacité des canaux de transmission. Dans ce contexte, le rôle des antennes qui assurent l'interface entre les circuits et le milieu de propagation est primordial, mais difficile en raison des contraintes physiques (encombrement, intégration avec d'autres circuits), technologiques (rayonnement, efficacité et bande passante) ou économique. De nouvelles approches, s'appuyant sur la technologie d'antennes à microstructures, offrent des perspectives intéressantes pour la miniaturisation ou l'élargissement de bande. Les antennes microstructurées sont des antennes miniatures très compactes, permettant d'intégrer un grand nombre de ports fortement décorrélés, dans un volume correspondant à un équipement de réseau WLAN ou Femto (d'une distance très inferieure à la longueur d'onde λ). L'objectif de ces travaux est d'évaluer quantitativement l'apport de cette nouvelle génération d'antennes pour les systèmes de communication MIMO.

2. Présentation des antennes étudiées

2.a. Réseau d'antennes de référence

Le réseau d'antennes de référence proposé (Figure 1) est une structure symétrique comprenant deux patchs carrés dos à dos réalisés sur un substrat FR4[1]. Cette solution est assez compacte. Chaque patch est alimenté par deux lignes micro-rubans pour exciter les deux polarisations orthogonales. Un tronçon de ligne quart d'onde assure l'adaptation d'impédance. Ce réseau possède donc 8 ports.



(a) face supérieure (b) face inférieure

Figure 1. Structure antennaire de référence.

La Figure 2 représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence, mesurée en entrée de chaque port d'alimentation du réseau antennaire de référence. On remarque que cette structure a des bonnes performances en adaptation sur la bande 2,4-2,5GHz.

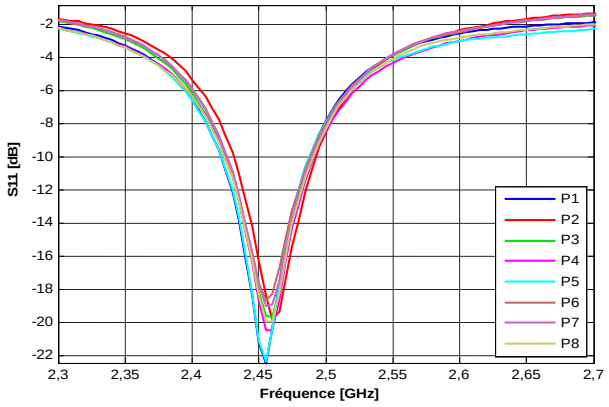
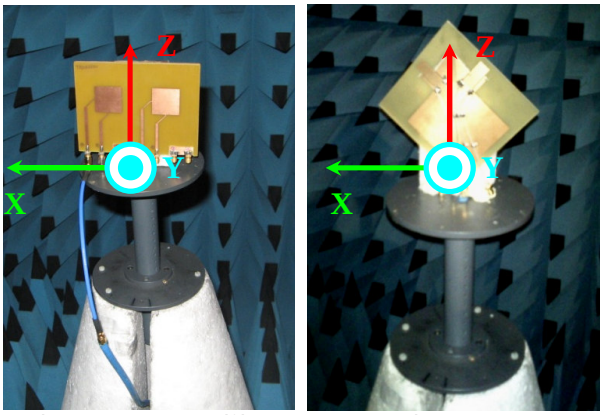


Figure 2. Coefficient de réflexion du réseau d'antennes de référence.

Les diagrammes de rayonnement du réseau de référence ont été mesurés en plan *xOz* dans la base champ proche Satimo SG32 de l'IETR, comme indiqué sur la Figure 3(a). En tenant compte des symétries par rapport au plan de masse, la Figure 4 présente les diagrammes de rayonnement 3D obtenus à partir des

mesures, à la fréquence centrale de 2,45GHz pour les quatre ports d'alimentation situés sur la face supérieure du réseau. Les diagrammes et les gains obtenus sont quasi-identiques entre eux, la seule différence résidant au niveau de la direction de polarisation.



(a) réseau d'antennes de référence (b) réseau d'antennes microstructurée

Figure 3. Mesure d'antennes et repères associés.

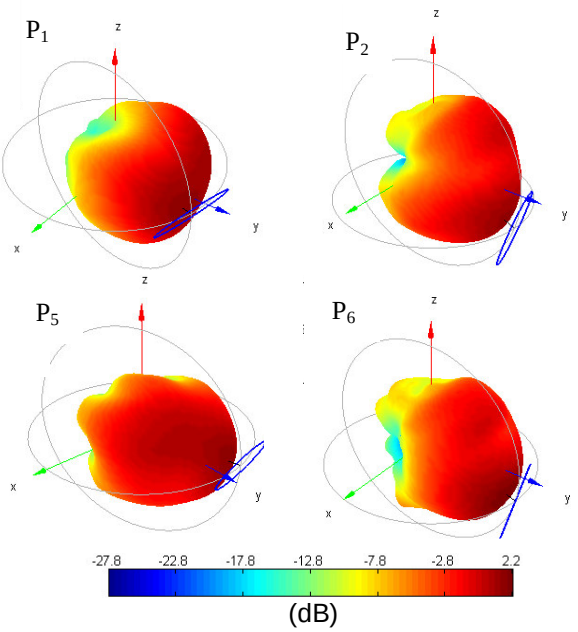


Figure 4. Diagrammes de rayonnement des antennes de référence à la fréquence centrale de résonance f=2,45GHz.

2.b. Réseau d'antennes microstructurées

Le réseau d'antennes microstructurées développé par l'entreprise Time Reversal Communications est présenté sur la Figure 5. Le concept initial avait été introduit dans [2]. La structure antennaire, gravée sur un substrat de type FR4, présente quatre ports espacés d'une distance de l'ordre de λ/10. Chaque microstructure est une juxtaposition de fentes. Les antennes sont adaptées sur la bande de fréquence 2,4-2,5GHz (conforme à la Figure 6).

Pour caractériser et évaluer le rayonnement 3D de ces antennes, une campagne de mesures en base champ proche a été menée (Figure 3(b)). La Figure 7 présente les diagrammes de rayonnement à 2,45GHz mesurés, pour les quatre ports d'alimentation du réseau (numérotés de gauche à droite, de 1 à 4 cf. Figure 5). D'après cette Figure 7, on peut constater que les antennes symétriques ont des diagrammes de rayonnement symétriques dans le plan *zOy*.

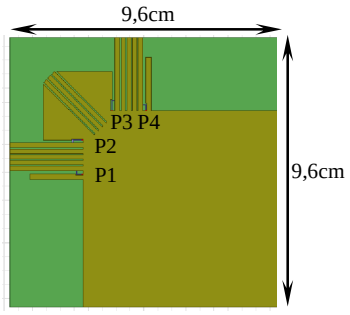


Figure 5. Réseaux d'antenne microstructurées.

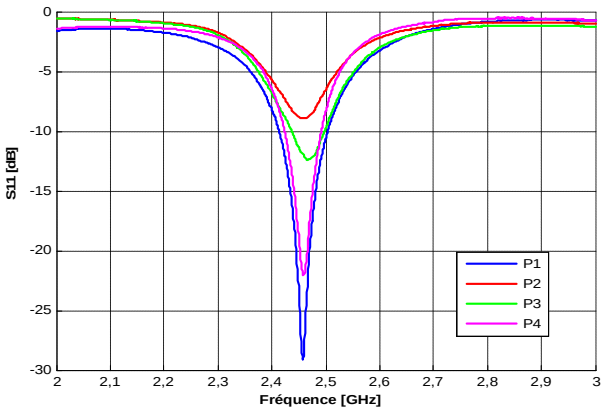


Figure 6. Coefficient de réflexion du réseau d'antennes microstructurées.

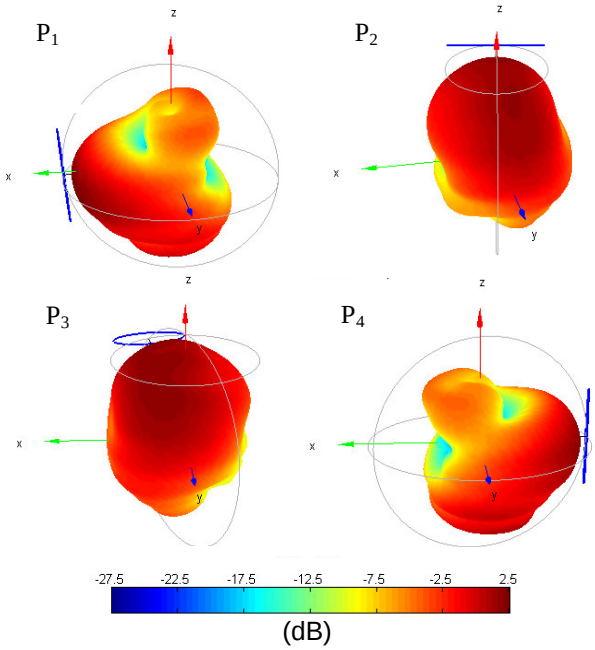


Figure 7. Diagrammes de rayonnement des antennes microstructurées à la fréquence centrale de résonance f=2,45GHz.

2.c. Comparaison des performances

Le Tableau 1 synthétise les performances mesurées de ces deux prototypes d'antennes présentés précédemment, rayonnant autour de 2,45GHz.

On peut remarquer que les performances des deux réseaux considérés sont similaires en termes de bande passante, isolation et corrélation des ports. Seul le gain diminue légèrement pour le réseau de référence. Ceci s'explique par les pertes du substrat utilisé impactant directement l'efficacité de celle-ci.

Type de mesure	Antenne de référence	Antenne micro-structurée
Gain maximal	1,2-2,2dB	1,3-2,7dB
Efficacité	29-33%	45-60%
Corrélation	<0,15	<0,15
S_{11} (100MHz de bande)	-6 à -20dB	-8 à -25dB
Isolation minimale	-13dB	-12dB

Tableau 1. Performances mesurées des antennes.

3. Sondeur du canal MIMO

Pour les besoins de cette étude, un sondeur de canal MIMO a été conçu et développé.

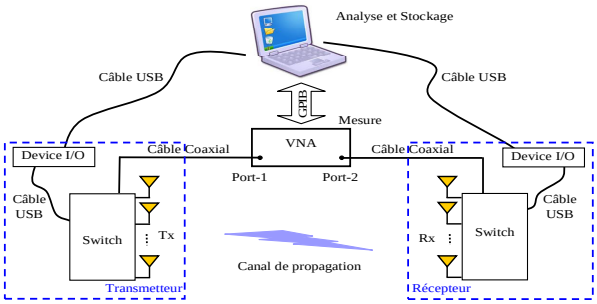


Figure 8. Synoptique du sondeur de canal MIMO.

La Figure 8 présente le synoptique de l'équipement réalisé. Ce sondeur de canal utilise un analyseur de réseau vectoriel (VNA – Vector Network Analyser) de type R&S ZVB20 permettant la mesure du canal de propagation sur de larges bandes de fréquence. Le port 1 est utilisé comme transmetteur et le port 2 comme récepteur. Les réponses impulsionnelles sont ainsi obtenues en utilisant la procédure classique de mesure du paramètre S_{21} du canal (y compris les réseaux d'antennes). Pour cette étude, les mesures de canal sont effectuées dans un environnement intérieur. Compte tenu des distances envisagées et de la sensibilité de l'équipement, le recours des amplificateurs RF (Radio Fréquence) n'est pas nécessaire. Deux commutateurs RF de type SP8T sont placés à la fois côté émetteur et côté récepteur, afin de permettre la sélection des ports d'antenne T_x et/ou R_x. Ainsi, toutes les combinaisons possibles entre les antennes d'émission et de réception sont mesurées. Tous les éléments de la chaîne d'acquisition sont pilotés et contrôlés par un ordinateur et l'ensemble du processus de mesure est automatisé grâce à une interface homme-machine conviviale développée en Matlab™. Le programme assure la calibration, la commutation des antennes, la mesure du canal, le post-traitement et l'enregistrement des données.

Cette plateforme est capable de mesurer des canaux MIMO de dimension 8×8. Elle permettra de caractériser le canal avec des différents réseaux d'antennes et d'évaluer leur influence sur la capacité du canal. Une validation de l'équipement a été réalisée en chambre anéchoïque.

4. Description de l'environnement de mesure

Les mesures de canal MIMO ont été effectuées dans un environnement indoor situé dans les locaux d'Orange Labs (Belfort) statistiquement représentatif d'un appartement. Le plan ainsi que la position des points de mesures sont schématisés sur la Figure 9. L'émetteur a été déplacé en 5 positions, tandis que le récepteur a été placé à un endroit unique (Tableau 2). Les antennes à l'émission et à la réception ont été placées à la même hauteur (1 mètre de hauteur de sol). Quatre orientations différentes de part et d'autre de la liaison ont été considérées : 0°, 45°, 90° et 135°. Au total, cette campagne de mesure a permis de collecter environ 10 000 réponses impulsionnelles en situations LOS (Line Of Sight) et NLOS (No Line Of Sight).

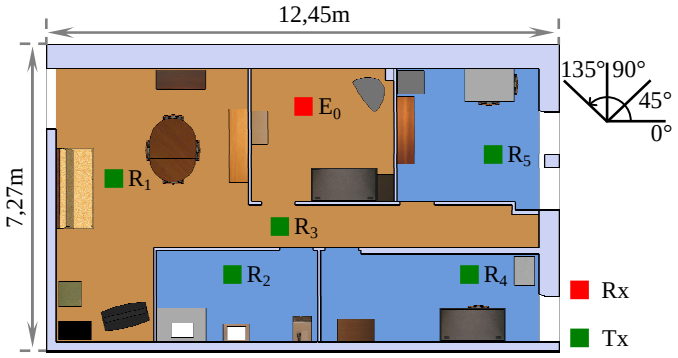


Figure 9. Environnement de mesure et points à l'émission et réception

ID	X(m)	Y(m)	Z(m)
E_0	6,46	5,88	1
R_1	1,40	3,86	1
R_2	5,28	1,08	1
R_3	5,35	2,74	1
R_4	10,53	1,48	1
R_5	10,70	3,98	1

Tableau 2. Points de réception et d'émission mesurés.

Le canal de transmission a été caractérisé sur 401 fréquences régulièrement espacées entre 2,2 et 2,7GHz. Cette configuration correspond à une profondeur temporelle de la réponse impulsionnelle de 400ns et une résolution de 0,1ns.

5. Résultats

Pour permettre une comparaison équitable entre les deux réseaux d'antennes proposés, l'analyse MIMO s'est limitée à une configuration 4×4. Pour maximiser le

nombre de canaux, des sous-réseaux d'antenne ont été créés :

- antennes identiques à l'émission et à la réception de type microstructurées (MA) ;
- antennes identiques à l'émission et à la réception constituées de 2 patchs localisés dans la partie gauche de la structure antennaire de référence (alimentés à travers P_1, P_2, P_3 et P_4) ;
- antennes identiques à l'émission et à la réception constituées de 2 patchs localisés sur la face supérieure de la structure antennaire de référence (alimentés à travers P_1, P_2, P_5 et P_6) ;
- antennes de type P_1-P_2-P_3-P_4 à l'émission et MA à la réception ;
- antennes de type P_1-P_2-P_5-P_6 à l'émission et MA à la réception.

Les capacités Water-Filling ont été calculées pour chaque configuration de mesure afin d'évaluer quantitativement l'apport d'antennes microstructurées pour les systèmes de communication MIMO. A titre de synthèse, la Figure 10 présente les résultats de mesure comparant les capacités Water-Filling des différentes configurations 4×4 testées, tracées à la fréquence centrale de 2,45GHz, en fonction du SNR (rapport signal à bruit). Ces courbes ont été moyennées sur l'ensemble des mesures et normalisées par rapport aux coefficients de pertes de propagation (pathloss). Pour mieux comparer les résultats, une courbe de capacité de référence Rayleigh 4×4 a été rajoutée. On constate que l'allure générale des courbes est similaire, notamment les pentes qui sont sensiblement identiques. Les deux types d'antennes capturent donc les 4 degrés de liberté du canal. Ces résultats mettent en évidence l'augmentation de la capacité du canal en présence des antennes microstructurées, l'écart étant de 3bits/s/Hz par rapport à la capacité obtenue en présence des antennes de référence. Ce gain en termes de bilan de liaison est d'environ 3dB soit sensiblement le rapport d'efficacité entre les deux réseaux.

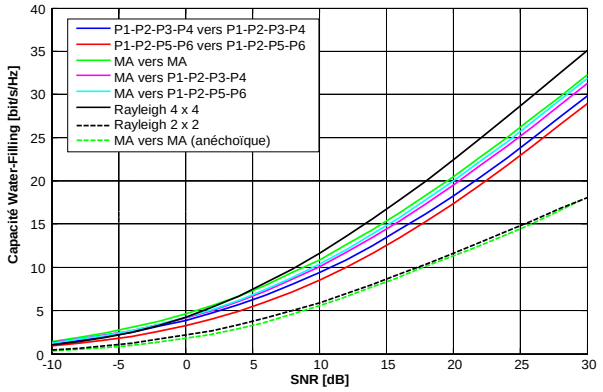


Figure 10. Comparaison des capacités Water-Filling des différents canaux MIMO 4×4.

A titre de vérification, les résultats obtenus en chambre anéchoïque avec des antennes microstructurées ont également été rapportés sur la Figure 10. Dans ce cas particulier, la capacité obtenue est divisée par deux et correspond à la capacité du canal de Rayleigh 2×2. Ceci illustre qu'en chambre anéchoïque, 2 degrés de libertés sont accessibles en raison de l'indépendance des polarisations.

La variation de la capacité du canal sur l'ensemble des mesures est reportée dans le Tableau 3 pour chacune des configurations 4×4 étudiées. On peut noter une dispersion de courbes de capacité beaucoup plus importante pour le réseau d'antennes de référence, par rapport au réseau d'antennes microstructurées. Pour ces dernières la capacité du canal est moins sensible à l'orientation de l'antenne côté émetteur et/ou récepteur.

Capacité (SNR=15dB)	moy. Bit/s/Hz	min. Bit/s/Hz	max. Bit/s/Hz	max-min Bit/s/Hz
$P_1P_2P_5P_6$ vers $P_1P_2P_5P_6$	12,5	3,2	29,3	26,1
$P_1P_2P_3P_4$ vers $P_1P_2P_3P_4$	13,4	4,5	23,4	19,0
$P_1P_2P_5P_6$ vers MA	14,8	8,2	28,1	19,1
$P_1P_2P_3P_4$ vers MA	14,4	6,9	24,9	18,1
MA vers MA	15,4	8,5	19,1	10,6

Tableau 3. Variabilité de la capacité Water-Filling pour les différents canaux MIMO 4×4

6. Conclusion

L'objet de cette étude expérimentale était d'évaluer les capacités des antennes microstructurées développées dans le cadre du projet TRIMARAN. Un sondeur de canal MIMO a été conçu et exploité pour collecter des mesures MIMO dans un environnement résidentiel. Les premiers résultats confirment que les antennes microstructurées permettent d'obtenir une diversité similaire à un réseau de référence mais dans un volume plus restreint. A même substrat, les antennes micro-structurée présentent une meilleure efficacité et permettent ainsi d'augmenter la capacité du canal MIMO par rapport aux antennes de référence.

Les travaux à venir seront consacrés à la validation et la généralisation des résultats par simulation. La finalité est de développer un outil capable de comparer l'efficacité globale de deux réseaux d'antennes quelconque afin d'optimiser les structures multi-antennaires.

7. Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale pour la Recherche et le Pole Images et Réseaux pour leur financement du projet Trimaran [3] au sein duquel ces travaux ont été menés.

8. Bibliographie

[1] C.A Balanis, « *Antenna Theory: Analysis and Design* », 3-ème Edition, Wiley, 2005.

[2] G. Lerosey, C. Leray, F. Lemoult, J. de Rosny, A. Tourin, M. Fink, « *Hybridization band gap based smart antennas: Deep subwavelength yet directional and strongly decoupled MIMO antennas* », EUCAP 2012, Prague

[3] https://rd-project-trimaran.rd.francetelecom.com