

Conception et analyse en diversité de systèmes multi-antennes pour téléphones mobiles UMTS

A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, R. Staraj, G. Kossiasvas

LEAT, Université de Nice-Sophia Antipolis/UMR-CNRS 6071
250 rue Albert Einstein, Bât. 4, Les Lucioles 1, 06560 Valbonne, France
Tél : +33 4 92 94 28 58, Fax : +33 4 92 94 28 12
E-mail : aliou.diallo@unice.fr

I. Introduction

Afin de répondre aux demandes de hauts débits exigés dans les communications sans fil de dernières générations, une solution consiste à augmenter la capacité du canal radio-fréquence entre la station de base et le terminal portatif. Ceci peut-être réalisé en augmentant le nombre d'éléments rayonnants impliqués dans cette liaison radiofréquence: on parle alors de diversité (SIMO) ou de technique MIMO. Cependant, l'intégration de plusieurs antennes sur le plan de masse (PCB) d'un seul et même téléphone portable est un challenge délicat. En effet, malgré le volume restreint, un fort découplage entre antennes doit être atteint afin de maximiser le gain de diversité et de ce fait, accroître la capacité de transmission du système global [1]. Récemment, nous avons démontré, à l'aide d'un effet de neutralisation, qu'il était possible d'intégrer deux résonateurs quart d'onde étroitement proches sur un PCB, tout en les maintenant fortement isolés du point de vue électromagnétique et présenter ainsi des efficacités totales très satisfaisantes [2]. Ces résultats étaient cependant obtenus pour deux antennes PIFAs n'opérant pas dans la même bande de fréquence.

Nous présentons ici une extension de ce travail avec la mise en œuvre de la technique de neutralisation pour des systèmes multi-antennes opérant dans la bande UMTS (1920-2170 MHz). Plusieurs structures optimisées sont réalisées. Leurs performances en diversité sont mesurées dans une chambre réverbérante, notamment en présence d'un fantôme simulant la tête d'un utilisateur potentiel. Les bénéfices apportés par la technique de neutralisation sont ainsi démontrés.

II. Conception de systèmes multi-antennes

1. Système à deux antennes

A l'aide du logiciel de simulation électromagnétique IE3D [3], deux antennes PIFA ont été optimisées (longueur 26,5mm, largeur 8mm) et placées sur la même largeur d'un PCB. Ces antennes, séparées de 18mm, soit $0,12\lambda_0$ à 2 GHz sont optimisées pour couvrir la bande UMTS avec un module du coefficient de réflexion inférieur à -6 dB. Cependant, nous constatons que l'isolation obtenue dans une telle configuration est égale -5 dB à 1,9 GHz (Fig.2), ce qui entraîne assurément une dégradation de l'efficacité et du coefficient de corrélation entre les deux PIFA [4]. L'efficacité totale calculée à partir des paramètres S simulés (Eq. 1) atteint une valeur maximale de 80,5% (-1 dB) (Fig.3) ou encore 77,2% (-1,1 dB) lorsqu'elle est mesurée avec une Wheeler Cap.

$$\eta_{tot} = \eta_{ray} (1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2) \quad (1)$$

Pour augmenter l'isolation entre les deux PIFAs, nous avons inséré une ligne de neutralisation suspendue entre leurs alimentations (Fig. 1). Cette configuration permet d'obtenir une isolation supérieure à 15 dB sur toute la bande UMTS avec un creux d'annulation contrôlable (Fig.2), sans toutefois désadapter les PIFAs [2]. Les efficacités totales simulées et mesurées (Fig. 3) sont ainsi améliorées de plus de 16%: 98% (-0.1 dB) et 93,8% (-0,26 dB). L'enveloppe de corrélation est calculée à partir des paramètres S (Eq. 2) et des champs E (Eq. 3, où $G_\theta = E_\theta(\Omega)E_\theta^*(\Omega)$, $E_{\theta 1}(\Omega)$ et $E_{\theta 2}(\Omega)$ sont les champs complexes en θ des antennes 1 et 2). Elle est largement inférieure à 0,5 sur la bande UMTS (Fig. 4) ce qui est une condition nécessaire pour de bonnes performances en diversité [5].

$$\rho_e = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{12}^* S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2)(1 - |S_{12}|^2 - |S_{22}|^2)} \quad (2) \quad \rho_e = \frac{\oint (E_{\theta 1}(\Omega)E_{\theta 2}^*(\Omega) + E_{\phi 1}(\Omega)E_{\phi 2}^*(\Omega)) d(\Omega)}{\oint (G_{\theta 1}(\Omega) + G_{\phi 1}(\Omega)) d(\Omega) \cdot \oint (G_{\theta 2}(\Omega) + G_{\phi 2}(\Omega)) d(\Omega)} \quad (3)$$

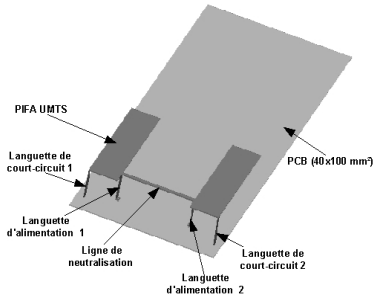


Fig. 1: Vue 3D du système à deux antennes avec ligne de neutralisation

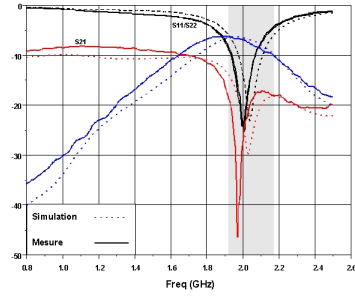


Fig. 2: Paramètres S_{ij} du système à deux antennes: isolation sans ligne (bleu) et avec ligne (rouge)

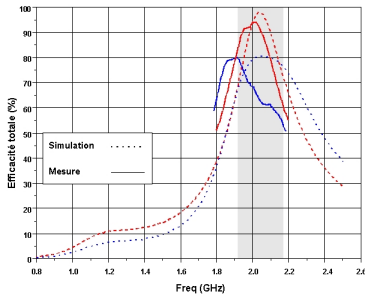


Fig. 3: Efficacité du système à deux antennes sans ligne (bleu) et avec ligne (rouge)

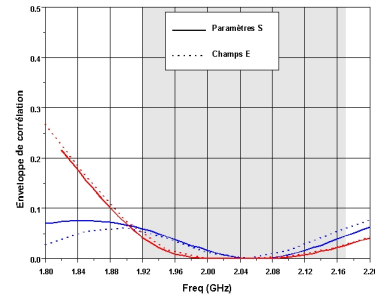


Fig. 4: Enveloppe de corrélation du système à deux antennes sans ligne (bleu) et avec ligne (rouge)

2. Système à quatre antennes

Nous avons également intégré sur le même PCB deux éléments supplémentaires (Fig. 5). Afin d'obtenir un découplage optimal avec les PIFAs déjà utilisées, nous avons constaté qu'il était bénéfique de positionner ces nouveaux éléments de façon à ce que 2 parties rayonnantes présentant de forts champs électriques ne soient pas en regard. Une nouvelle ligne de neutralisation a également été optimisée selon les principes énoncés en [2] pour découpler les nouvelles PIFAs. Dans cette configuration, nous obtenons entre toutes les antennes des isolations supérieure à 15 dB sur toute la bande UMTS (Fig. 6). L'efficacité totale simulée (Eq. 4) des antennes 1 et 2 de ce système atteint 93% (-0,3 dB) et 95% (-0,2 dB) pour les antennes 3 et 4. Elle est respectivement de 89% (-0,5 dB) et de 93% (-0,3 dB) en mesure (Fig. 7). Les coefficients de corrélation calculés à partir des paramètres S_{ij} (Eq. 5) sont tous inférieurs à 0,15 sur la bande d'intérêt (Fig. 8) ce qui montre que toutes les antennes sont parfaitement décorrélées.

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{rayi}} \left(1 - \sum_{n=1}^N |S_{n,i}|^2 \right) \quad (4)$$

$$\rho_e(i, j, N) = \frac{\left| \sum_{n=1}^N S_{i,n}^* S_{n,j} \right|^2}{\prod_{k=i,j} \left[1 - \sum_{n=1}^N |S_{k,n}|^2 \right]} \quad (5)$$

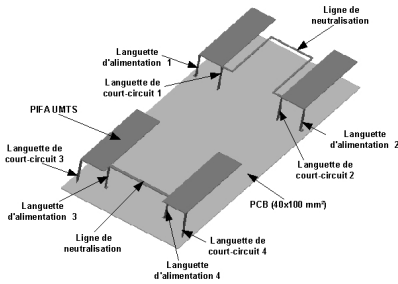


Fig.5: Vue 3D du système à quatre antennes avec lignes de neutralisation

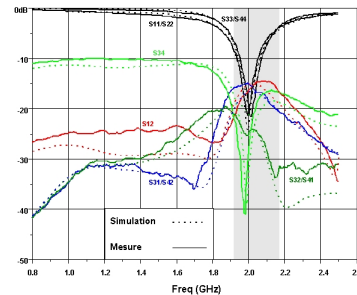


Fig.6: Paramètres S du système à quatre antennes avec lignes de neutralisation

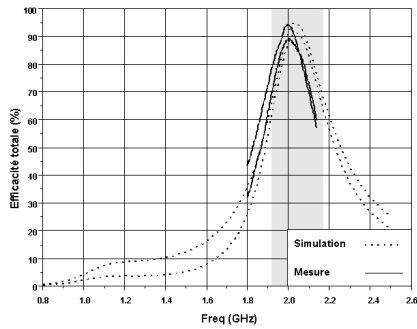


Fig. 7 : Efficacité du système à quatre antennes avec lignes de neutralisation

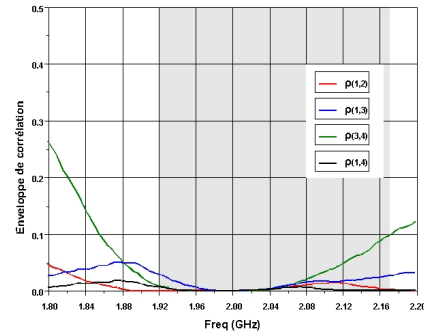


Fig. 8 : Enveloppe de corrélation du système à quatre antennes avec lignes de neutralisation

Analyse en diversité des systèmes dans une chambre réverbérante

Pour évaluer les performances en diversité de nos systèmes multi-antennes, les prototypes avec et sans ligne de neutralisation ont été mesurés à l'Institut Chalmers à Göteborg, dans une chambre réverbérante, connue comme étant un moyen efficace et reproductible pour représenter un environnement uniforme [6]. Les efficacités totales et les gains en diversité apparents des systèmes à deux antennes sont respectivement présentés sur les Fig. 9 et 10. Le gain en diversité apparent est défini comme la différence entre la meilleure puissance reçue par chaque antenne et la puissance combinée des deux antennes à un certain pourcentage (1% du temps par exemple). Cependant pour connaître le gain réel du système encore appelé gain en diversité actuel, il faut également prendre en compte l'efficacité totale de chaque antenne. Ainsi, pour le système sans ligne, l'efficacité totale et le gain en diversité apparent à 1% sont respectivement de -1,3 dB et 7,6 dB, soit un gain en diversité actuel de 6,3 dB. Ces deux paramètres sont supérieurs avec le système multi-antenne à ligne de neutralisation. Ils sont respectivement de -0,5 dB et 9 dB, soit un gain en diversité actuel de 8,5dB. L'insertion de la ligne de neutralisation apporte donc une amélioration conséquente de 2,3 dB sur le gain en diversité actuel. Les mêmes paramètres ont été évalués pour les systèmes à quatre antennes à faible et forte isolation (sans et avec ligne de neutralisation), en présence ou non d'un fantôme simulant la tête d'un utilisateur (Fig.11 et Fig.12).

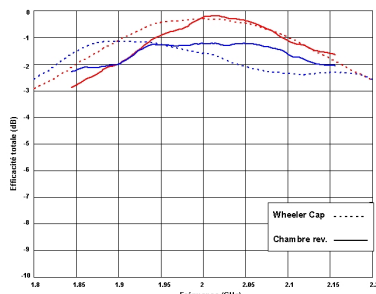


Fig.9 : Efficacité totale du système à deux antennes avec (rouge) et sans ligne (bleu)

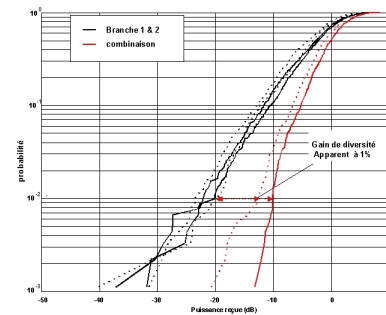


Fig.10 : Puissance reçue par le système à deux antennes avec ligne (traits pleins) et sans ligne (pointillés)

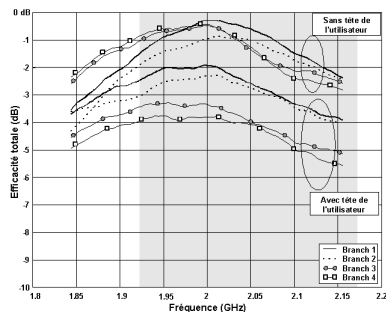


Fig.11 : Efficacité totale du système à quatre antennes avec (traits pleins) et sans (pointillés) tête de l'utilisateur

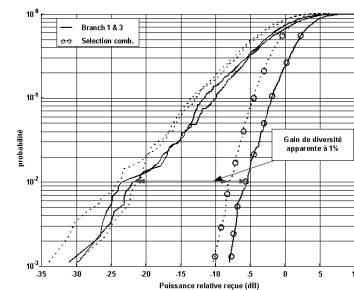


Fig.12 : Puissance reçue par le système à quatre antennes avec (traits pleins) et sans (pointillés) tête de l'utilisateur

Les résultats obtenus avec les systèmes à quatre antennes sont regroupés dans le Tableau 1. Nous avons constaté qu'en l'absence de la tête d'un utilisateur, la ligne de neutralisation apporte une amélioration de 2.3 dB en gain en diversité actuel au système à deux antennes. Ce résultat se confirme pour le système à quatre antennes avec une amélioration de 2.4 dB.

La présence de la tête de l'utilisateur entraîne une dégradation des performances en diversité, notamment due à la chute de l'efficacité totale et du gain en diversité apparent. Ceci se traduit par une chute du gain en diversité actuel. Ainsi, en présence de la tête de l'utilisateur, dans le cas du système sans ligne de neutralisation, on observe une baisse de 5 dB du gain en diversité actuel et de 4,6 dB pour le système avec la ligne. L'amélioration du gain en diversité actuel apportée par la ligne de neutralisation est légèrement plus importante avec la présence de la tête de l'utilisateur (2,8 dB) que dans le cas précédent sans tête (2,4 dB). Cela est certainement dû au fait que la présence de la tête de l'utilisateur augmente fortement le couplage entre les antennes mais que cette détérioration est partiellement comblée par la technique de neutralisation.

<i>Prototypes</i>	<i>Tête de l'utilisateur</i>	<i>Efficacité totale -meilleure antenne (dB)</i>	<i>Gain de diversité apparente (dB)</i>	<i>Gain de diversité actuel (dB)</i>
Sans ligne	Sans	-1,1	13,3	12,2
	Avec	-4,9	12,1	7,2
Avec ligne	Sans	-0,4	15	14,6
	Avec	-3,1	13,1	10

Tableau 1: Performances en diversité des systèmes à 4 antennes mesurées en chambre réverbérante

IV. Conclusion

L'évaluation des performances en diversité de diverses structures multi-antennes neutralisées ou non dans une chambre réverbérante a montré que la technique de neutralisation apportait une amélioration sur les paramètres les plus importants d'une liaison SIMO, en particulier le gain en diversité actuel. De même, nous avons montré que les dégradations apportées par la présence de la tête d'un utilisateur pouvaient en partie être comblées par cette technique. Ainsi, sachant que la chambre réverbérante est considérée comme un environnement électromagnétique parfaitement uniforme et donc un environnement de propagation idéalisé, il serait intéressant d'évaluer les performances de ces prototypes dans un environnement de propagation réel pour pouvoir ainsi vérifier si la technique de neutralisation demeure efficace pour des liaisons de type SIMO.

IV. Références

- [1] T. Bolin, A. Derneryd, G. Kristensson, V. Plicanic and Z. Ying, "Two-antenna Receive Diversity Performance in Indoor Environment", *IET Electronics Letters*, Vol. 41, N°22, 27th October 2005, pp. 1205-1206.
- [2] A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, R. Staraj, G. Kossiavas, "Study and reduction of the mutual coupling between two mobile phone PIFAs operating in the DCS1800 and UMTS bands", *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, Vol. 54, Part 1, Nov. 2006, pp. 3063-3074.
- [3] IE3D, Release 11.15, Zeland Software Inc. 2005.
- [4] A. Derneryd and G. Kristensson, "Signal Correlation Including Antenna Coupling", *IET Electronics Letters*, Vol. 40, N°3, 5th February 2004, pp. 157-159.
- [5] I. Salonen I. and P. Vainikainen, "Estimation of Signal Correlation in Antenna Arrays", *JINA Int. Symp. Antennas*, Vol. 2, 2002, pp. 383-386.
- [6] Kildal P-S. and Rosengren K., "Correlation and Capacity of MIMO Systems and Mutual Coupling, Radiation Efficiency, and Diversity Gain of their antennas: Simulations and Measurements in a Reverberation Chamber", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, N°12, pp. 104-112, Dec. 2004.