



## L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

### Antennes reconfigurables pour la radio cognitive et les systèmes MIMO

#### Reconfigurable antennas for cognitive radio and MIMO systems

---

*B Poussot\*, JM Laheurte\**

*\* Université Paris-Est, ESYCOM (EA 2552), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM F-77454 Marne-la-Vallée, France, benoit.poussot@univ-mlv.fr*

---

Mots-clefs : Antennes reconfigurables, radio cognitive, systèmes MIMO.

Keywords : Reconfigurable antennas, cognitive radio, MIMO systems.

---

#### Résumé

L'apparition de nouvelles applications sans fil entraîne la multiplication des standards de communication. Les ressources fréquentielles disponibles étant limitées et les puissances d'émission étant réglementées pour des questions de sécurité vis-à-vis des personnes, des solutions innovantes doivent être mises en place pour augmenter les performances des transmissions en termes de débit et d'efficacité. L'utilisation d'antennes reconfigurables peut en partie répondre à ces besoins. Une antenne reconfigurable se définit comme un dispositif capable de modifier ses paramètres de fonctionnement (fréquence, bande passante, polarisation, diagramme de rayonnement) de manière dynamique. La reconfigurabilité est assurée par l'ajout au cœur de l'antenne de dispositifs actifs (RF-MEMS, Diodes, FETs...) ou en réalisant l'antenne directement sur des matériaux électriquement commandables ou « intelligents ». Dans cette étude nous dresserons un état de l'art des développements récents d'antennes reconfigurables. Nous nous focaliserons sur les différentes applications de ces dispositifs avec notamment les aspects portant sur la radio cognitive et les systèmes MIMO.

#### Introduction

Depuis de nombreuses années, les antennes reconfigurables font l'objet d'importantes recherches [1]. Les premiers développements remontent à la fin des années 70 avec le concept d'antenne à éléments parasites à charges commutées pour des applications dans le domaine militaire [5]. L'essor des techniques de diversité d'antennes [7] a largement contribué à la recherche de nouveaux dispositifs antennaires reconfigurables. L'idée étant de remplacer la diversité d'espace par des solutions antennaires proposant une diversité de diagramme et/ou de polarisation [8]. La multiplication des terminaux de communication multistandards, avec une intégration toujours plus poussée, ouvre le champ à des antennes reconfigurables en fréquence. Ce type d'antenne présente une alternative intéressante par rapport aux dispositifs rayonnants multi-bandes ou large-bande. Une étude sur ce sujet est présentée dans [9]. Dans le prolongement de cette thématique, le concept de radio cognitive conduit à une utilisation optimale des ressources spectrales disponibles, avec de nombreux défis concernant l'architecture des systèmes, plus particulièrement au niveau des aériens reconfigurables [10]. En 2004, les auteurs de l'article [12] proposent l'utilisation d'antennes reconfigurables dans les systèmes de communication MIMO (Multiple-input Multiple-Output). Cette utilisation entre dans le cadre des systèmes dits MIMO adaptatifs et apporte des degrés de liberté supplémentaires pour optimiser la robustesse et les performances de la communication en fonction des caractéristiques estimées du canal de propagation.

Dans cet article, après une première partie consacrée aux antennes reconfigurables nous nous intéresserons à leur utilisation dans les domaines de la radio cognitive et des systèmes MIMO adaptatifs.

#### 1. Antennes reconfigurables

La reconfigurabilité au niveau antennaire peut se définir comme la modification dynamique d'une ou plusieurs propriétés fondamentales de l'antenne en termes de fréquence, de polarisation et de diagramme de rayonnement. Elle permet de s'adapter à la variabilité de l'environnement et aux contraintes liées au système de communication. L'agilité des paramètres peut être envisagée par l'utilisation de composants discrets commutables ou accordables (diodes PIN, RF MEMS, diodes varicap, commutateurs photoconducteurs...), l'intégration de matériaux commandables (ferrites, cristaux liquides) ou par une modification de la structure physique de l'antenne [4].

## 2. Applications à la radio cognitive

La radio cognitive, basée sur le concept de radio logicielle, permet par une analyse de l'environnement de s'adapter aux ressources spectrales disponibles afin d'optimiser le fonctionnement de la communication. L'implémentation de la radio cognitive impose une architecture pour mesurer les bandes de fréquences disponibles sur un spectre très large (> à une décade) et une architecture dédiée à la communication. Suivant les architectures, une ou deux antennes peuvent être envisagées [13]. Du côté du terminal, [4] donne trois points importants pour la conception d'antennes dédiées à la radio cognitive. L'architecture considérée dispose de deux aériens (une antenne large bande pour la mesure et une antenne reconfigurable pour la communication). Outre le fait que l'antenne reconfigurable doit couvrir de manière continue l'ensemble de la bande, ces trois points clés sont les suivants : 1/ L'isolation entre les deux antennes, 2/ L'espace occupé par les antennes et 3/ Les possibilités de reconfigurabilité en diagramme de rayonnement pour limiter les interférences. L'article [14], donne également une analyse très complète du sujet. Garantir l'adaptation de l'antenne sur une très large bande tout en conservant une bonne efficacité reste un problème important. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour obtenir la reconfigurabilité en fréquence, par insertion de composants discrets commutables ou ajustables dans l'antenne, par un circuit d'adaptation reconfigurable [15], par un système mécanique [16]. L'article [17] consacré aux antennes agiles en fréquence donne un état de l'art très détaillé. Concernant les antennes dédiées à la radio cognitive, l'article [18] propose un prototype composé de deux monopoles imprimés sur un même substrat. Le premier est une structure elliptique et permet de couvrir une large bande pour la détection. Le second, destiné à la communication intègre deux commutateurs photoconducteurs pour assurer l'agilité en fréquence. Dans [16], le même principe est proposé, un monopole imprimé large bande pour la détection et une antenne reconfigurable pour la communication. L'élément agile est ici composé de cinq monopoles de formes différentes imprimés sur une portion circulaire de diélectrique mobile par rapport au support principal. Par rotation mécanique de cette section, chaque monopole peut être alimenté pour couvrir une bande de fréquence spécifique. L'étude menée dans [19], propose une architecture à une antenne pour la détection et la communication. Il s'agit d'un monopole imprimé circulaire chargé par un système de quatre stubs commutables. En fonction de la configuration retenue, l'élément rayonnant a un comportement large bande ou couvre une sous-bande parmi quatre possibles. D'autres concepts antennaires planaires dédiés à la radio cognitive sont proposés dans [20], [21] et [22].

## 3. Applications aux systèmes MIMO adaptatifs

Les systèmes MIMO adaptatifs permettent d'optimiser en temps réel les performances en fonction de la variabilité du canal de propagation. Pour atteindre cet objectif, le type de modulation, le taux de codage ou la technique de transmission peuvent être des paramètres ajustables. Ajouter la dimension antennaire dans ce type de système permet disposer d'un degré de liberté supplémentaire pour améliorer la qualité du lien radio et potentiellement réduire la complexité des systèmes. L'étude de la capacité des systèmes MIMO en utilisant la technique de sélection d'antenne est menée dans [26]. En se basant sur une mesure d'information de la qualité du canal, l'idée est d'être en mesure de sélectionner parmi un ensemble fini d'antennes disponibles à l'émission et/ou à la réception, celles permettant de maximiser les performances. Au détriment d'une augmentation de la place allouée aux antennes, cette technique permet une réduction de la complexité du traitement. En effet pour optimiser les performances du multiplexage spatial tirant parti des phénomènes multi trajets, les signaux reçus doivent être non-corrélés, la diversité spatiale nécessite une distance minimale entre des sources rayonnantes identiques. Pour limiter l'encombrement des antennes, la diversité spatiale peut être remplacée par de la diversité en polarisation et/ou en diagramme de rayonnement. Ceci est mis en évidence, notamment dans une étude dans consacrée à l'impact des antennes sur les performances d'un système MIMO [24]. En environnement multi-trajets, le coefficient de corrélation d'enveloppe permet d'évaluer les performances en diversité (diagramme et de polarisation) d'une antenne [23]. Ce coefficient, qui dépend des caractéristiques des antennes et du canal, doit rester faible pour garantir des signaux non corrélés. La modélisation du canal est donc nécessaire pour accéder aux performances en diversité. Une étude consacrée aux différents modèles utilisés est donnée dans [25].

Pour tirer parti de la technique de sélection d'antennes dans les systèmes MIMO en utilisant la diversité de diagramme, l'article [27] montre qu'il est possible d'améliorer la capacité du canal. Les aériens reconfigurables en émission et en réception sont basés sur le concept d'antennes à éléments parasites commutables. On retrouvera également des développements menés dans [28] sur l'utilisation des antennes reconfigurables en diagramme. Consacré à cette même thématique l'article [29] effectue une étude très complète dans un contexte multi utilisateur. D'autres solutions antennaires permettent d'obtenir une diversité de diagramme comme par exemple à partir d'une cavité électromagnétique cubique intégrant des fentes commutables [30]. D'autres études permettant d'utiliser de la diversité de diagramme et de polarisation sont menées avec des antennes multi-modes planaires [31], des antennes patch circulaires reconfigurables [32] ou des antennes spirales intégrant des commutateurs [33]. On notera enfin que pour augmenter la reconfigurabilité de l'antenne, des recherches sont menées sur les antennes dites « pixel » [12], [34], [35]. Il s'agit d'utiliser une matrice d'éléments imprimés, de dimensions très petites devant la longueur d'onde de travail, connectés les uns aux autres par des commutateurs. Malgré une fabrication très complexe, ce type de solution permet d'offrir une grande flexibilité sur la fréquence, le diagramme et la polarisation de l'antenne.

## Références bibliographiques

- [1] J. T. Bernhard, "Reconfigurable antennas," in Synthesis Lectures on Antennas, Morgan and Claypool Publishers, 2007
- [2] G.H. Huff, J. T. Bernhard "Reconfigurable Antennas," Chapter 8, in Modern Antenna Handbook, CA Balanis (editor), John Wiley & Sons, pp. 369-398, 2008
- [3] J. Zhang, A. Wang, and P. Wang, "A survey on reconfigurable antennas", Proceedings of the International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Vol. 3, 1156-1159, April, 2008.
- [4] C. G. Christodoulou, Y. Tawk, S. A. Lane, S. R. Erwin, "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 100, No. 7, pp. 2250 – 2261, July 2012.
- [5] R. F. Harrington, "Reactively controlled directive arrays," *IEEE transactions on antennas and propagation.*, Vol. AP-26, No. 3 pp. 390–395, May 1978.
- [6] R. J. Dinger "A planar version of a 4.0GHz reactively steered adaptive array". *IEEE transactions on antennas and propagation*, Vol. 34, No. 3, pp 427-431, March 1986
- [7] R. G. Vaughan and J. B. Andersen, "Antenna diversity in mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-36, pp. 147–172, Nov. 1987
- [8] C. B. Dietrich Jr., K. Dietze, J. R. Nealy, and W. L. Stutzman, "Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals," *IEEE transactions on antennas and propagation.*, vol. 49, pp. 1271–1281, Sept. 2001.
- [9] S. Yang, C. Zhang, H. K. Pan, A. E. Fathy, and V. K. Nair, "Frequency reconfigurable antennas for multiradio wireless platforms," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 10, no. 1, pp. 66–83, Feb. 2009
- [10] P. S. Hall, P. Gardner, J. Kelly, E. Ebrahimi, M. R. Hamid, and F. Ghanem, "Antenna challenges in cognitive radio," in *Proc. ISAP 08*, Taiwan, Oct. 2008
- [11] P. S. Hall, P. Gardner, J. Kelly, E. Ebrahimi, M. R. Hamid, F. Ghanem, F. J. Herraiz-Martinez, and D. Segovia-Vargas, "Reconfigurable antenna challenges for future radio systems," in *Proc. 3rd Eur. Conf. on Antennas and Propagation*, Berlin, Germany, 2009, pp. 949–955
- [12] B. A. Cetiner, H. Jafarkhani, Q. Jiang-Yuan, Y. H. Jae, A. Grau, and F. De Flaviis, "Multifunctional reconfigurable MEMS integrated antennas for adaptive MIMO systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, pp. 62–70, Dec. 2004
- [13] P. S. Hall, P. Gardner, J. Kelly, E. Ebrahimi, M. R. Hamid, and F. Ghanem, "Antenna challenges in cognitive radio," in *Proc. ISAP 08*, Taiwan, Oct. 2008
- [14] S. Hall, P. Gardner, and A. Faraone, "Antenna requirements for software defined and cognitive radios," *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2262–2270, Jul. 2012
- [15] D. Manteuffel and M. Arnold, "Considerations for reconfigurable multi-standard antennas for mobile terminals," in *Int. Workshop on Antenna Technology*, Mar. 2008, pp. 231–234
- [16] Y. Tawk, J. Costantine, K. Avery, and C. G. Christodoulou, "Implementation of a cognitive radio front-end using rotatable controlled reconfigurable antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 5, pp. 1773–1778, May 2011
- [17] S. Rao, N. Llobart "An Overview of Tuning Techniques for Frequency-Agile Antennas" *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 54, No. 5, pp 271-276 October 2012
- [18] Y. Hawk, S. Hemmady, G. Balakrishnan, and C. G. Christodoulou, "Demonstration of a cognitive radio front-end using optically pumped reconfigurable antenna systems (OPRAS)," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 2, pp. 1075–1083, Feb. 2012
- [19] T. Aboufoul, A. Alomainy and C. Parini, "Reconfigurable UWB antenna for cognitive radio applications using GaAs FET switches," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 392–394, 2012.
- [20] J.R. Kelly, P. Song, P.S. Hall, A.L. Borja, "Reconfigurable 460 MHz to 12 GHz antenna with integrated narrowband slot," *Progr. Electromagn. Res.*, vol. 24, pp. 137–145, Sep. 2011
- [21] F. Ghanem, P. S. Hall, and J. R. Kelly, "Two port frequency reconfigurable antenna for cognitive radios," *IET Electron. Lett.*, vol. 45, no. 11, pp. 534–535, May 21, 2009
- [22] G. Augustin, TA. Denidni. "An Integrated Ultra Wideband/Narrow Band Antenna in Uniplanar Configuration for Cognitive Radio Systems." *IEEE Trans. Antennas Propag.* Vol. 60, no. 11, pp. 5479 - 5484, Jun 2004
- [23] R. H. Clarke and W. L. Khoo, "3-D mobile radio channel statistics," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, no. 3, pp. 798–799, May 1997.
- [24] M. A. Jensen and J. W. Wallace, "A review of antennas and propagation for MIMO wireless communications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 11, pp. 2810–2824, 2004
- [25] K. Yu and B. Ottersten, "Models for MIMO propagation channels—A review," *J. Wireless Commun. Mob. Comput.*, vol. 2, no. 7, pp. 653–666, Nov. 2002.
- [26] A. F. Molisch, M. Z. Win, Y.-S. Choi, and J. H. Winters, "Capacity of MIMO systems with antenna selection," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 4, pp. 1759–1772, 2005
- [27] M. D. Migliore, D. Pinchera, and F. Schettino, "Improving channel capacity using adaptive MIMO antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 11, pp. 3481–3489, 2006
- [28] J. Boerman and J. Bernhard, "Performance study of pattern reconfigurable antennas in MIMO communication systems," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 1, pp. 231–236, Jan. 2008
- [29] R. Mehmood and J. W. Wallace, "MIMO capacity enhancement Using parasitic reconfigurable aperture antennas (RECAPs)," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 2, pp. 665-673 Feb. 2012

- [30] J. Sarrazin, Y. Mahe, S. Avrillon, and S. Toutain, B “Pattern reconfigurable cubic Antenna”, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 2, pp. 310–317, Feb. 2009
- [31] C. Waldschmidt and W. Wiesbeck, “Compact wide-band multimode antennas for MIMO and diversity,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 8, pp. 1963–1969, 2004
- [32] D. Piazza, P. Mookiah, M. D’Amico, and K. R. Dandekar, “Experimental analysis of pattern and polarization reconfigurable circular patch antennas for MIMO systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.59, no. 5, pp. 2352–2363, Jun. 2010
- [33] H. Pan, G. Huff, T. Roach, Y. Palaskas, S. Pellerano, P. Seddighrad, V. Nair, D. Choudhury, B. Bangerter, and J. Bernhard, “Increasing channel capacity on MIMO system employing adaptive pattern/polarization reconfigurable antenna,” *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.* 2007, pp. 481–484.
- [34] L. Pringle, P. Harms, S. Blalock, G. Kiesel, E. Kuster, P. Friederich, R. Prado, J. Morris, and G. Smith, “A reconfigurable aperture antenna based on switched links between electrically small metallic patches,” *IEEE Trans. Antennas Propag.* 52, no. 6, pp.1434–1445, Jun 2004.
- [35] A. Grau, J. Romeu, L. Jofre, and F. De Flaviis, “A Software Defined MEMS-Reconfigurable PIXEL-Antenna for Narrowband MIMO Systems,” *NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems*, pp. 141-146, June 2008.