



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

Titre : Conception d'antennes par transformation d'espace

Title: Antenna design via coordinate transformation

*P.-H. Tichit**, *S. N. Burokur***, *A. de Lustrac****

* IEF, Univ. Paris-Sud, UMR 8622 ; CNRS, Orsay, F-91405, paul-henri.tichit@u-psud.fr

** IEF, Univ. Paris-Sud, UMR 8622 ; CNRS, Orsay, F-91405 et Univ. Paris-Ouest, Ville d'Avray, F-92410, shah-nawaz.burokur@u-psud.fr

*** IEF, Univ. Paris-Sud, UMR 8622 ; CNRS, Orsay, F-91405 et Univ. Paris-Ouest, Ville d'Avray, F-92410, andre.de-lustrac@u-psud.fr

Mots-clefs : transformation d'espace, antennes, métamatériaux.

Keywords: coordinate transformation, antennas, metamaterials.

Résumé

La transformation de coordonnées spatiales est une méthode mathématique qui permet de concevoir de nouveaux types de systèmes électromagnétiques. Dans cet article nous exposons les résultats de ce concept au travers de plusieurs types d'antennes conçues : une antenne ultra-directive, une antenne azimutale, une antenne isotrope et une antenne miniature. Toutes les formulations théoriques sont validées par des simulations numériques. Des modèles d'implémentations de ces dispositifs via l'utilisation de métamatériaux sont aussi proposés. Des mesures effectuées sur les prototypes réalisés montrent l'intérêt de cette méthode pour la conception d'antennes nouvelle génération dans les domaines du transport et de l'aéronautique.

Introduction

Le concept de transformation d'espace a été développé par J. B. Pendry [1] et U. Leonhardt [2] en 2006 et validé par la démonstration expérimentale de la première cape d'invisibilité en micro-ondes [3]. Le principe de la transformation d'espace est de générer des équations de Maxwell invariantes dans un nouveau système de coordonnées par la création d'une perméabilité et/ou permittivité adaptée. Ce nouveau système de coordonnées contient toutes les caractéristiques essentielles nécessaires au dispositif que l'on souhaite concevoir. Ainsi mathématiquement, cela revient à imaginer un espace représenté par la trajectoire des rayons lumineux, comme il peut l'être en relativité générale. L'étape la plus importante du processus est de déterminer une permittivité et une perméabilité qui imiteront le rôle de notre espace calculé. Généralement ces permittivités et perméabilités sont anisotropes, inhomogènes et sont réalisées dans certains cas à l'aide de métamatériaux.

La récente technique de transformation de source offre de nouvelles possibilités pour la conception de nouveaux dispositifs avec l'inclusion d'une source dans l'espace transformé [4]. Cette approche nous a donc conduit à proposer une antenne ultra-directive [5], une antenne azimutale [6], une antenne isotrope [7] et finalement un matériau permettant de miniaturiser les antennes [8].

1. Conception d'antennes via la transformation d'espace

Nous nous intéressons à quatre types d'antennes. Dans chaque cas, nous présentons le principe de transformation d'espace utilisé et les résultats obtenus. Des simulations ont été faites en utilisant le logiciel commercial Comsol Multiphysics afin de concevoir les différentes types d'antennes.

1.1. Antenne directive

Dans un premier temps, nous concevons une antenne ultra-directive en transformant un espace décrit en coordonnées polaires en un espace rectangulaire, comme illustré sur la Fig. 1(a). Les lignes radiales se transforment en lignes horizontales dans l'espace rectangulaire. Pour une réalisation physique utilisant les métamatériaux, nous considérons une onde électromagnétique telle que le champ électrique E est parallèle à z . Ceci nous conduit à un métamatériau décrit

par : $\mu_{xx} = 1$, $\mu_{yy} = \frac{1}{(\epsilon_{xx})^2}$ et $\epsilon_{zz} = 4(\epsilon_{xx})^2$ [5]. Les diagrammes de rayonnement simulés et mesurés sont présentés sur la Fig. 1(b). On peut très clairement observer que le rayonnement omnidirectionnel de l'antenne patch utilisée comme source est transformé en rayonnement directif lorsqu'elle est en présence du métamatériau.

1.2. Antenne azimutale

Le deuxième cas traité consiste à courber les lignes de champ d'un espace rectangulaire comme décrit sur la Fig. 1(c) pour avoir une antenne azimutale. Ici, nous considérons que le champ magnétique H est orienté dans la direction de z

pour la réduction des paramètres électromagnétiques. Le matériau calculé est ainsi défini par : $\epsilon_{rr} = \left(\frac{1}{br}\right)^2 \div 1.7$,

$\epsilon_{\theta\theta} = 2.8$ et $\mu_{zz} = 1.7$ [6]. Fig. 1(d) montre l'effet du métamatériau sur le rayonnement d'une antenne patch. Deux observations peuvent être faites ; premièrement le rayonnement est directif en présence du métamatériau et deuxièmement, le rayonnement est dépointé d'un angle avoisinant les 65° sur le prototype mesuré.

1.3. Antenne isotrope

Le troisième cas traité consiste à concevoir une antenne isotrope à partir d'un rayonnement directif. Dans ce cas, nous étirons l'espace autour de la source directive de sorte que la taille apparente de cette source devienne très petite et émette ainsi un rayonnement isotrope (Fig. 1(e)). Le matériau issu de la transformation est donc décrit par : $\mu_{rr} = 1$,

$\mu_{\theta\theta} = \left(\frac{r'}{qr(r'-\alpha)}\right)^2$ et $\epsilon_{zz} = \left(\frac{r'}{r}\right)^2$ [7]. Pour la simulation du dispositif en mode Transverse Electric (TE), nous

considérons une source de courant dont la direction est suivant l'axe z . Sur la Fig. 1(f), nous pouvons observer la nature isotrope du rayonnement en présence du métamatériau alors que la source seule présente un rayonnement directif.

1.4. Antenne miniature

Le dernier cas consiste à miniaturiser la taille physique d'une source tout en conservant le rayonnement directif obtenu par la taille originale de la source qui est comparable à la longueur d'onde. Pour cela, on applique une compression spatiale autour de l'élément rayonnant miniature de sorte qu'il apparaisse grand par rapport à l'espace autour (Fig. 1(g)) [8]. Cependant, il faut aussi appliquer un étirement autour de l'espace compressé afin d'assurer une bonne adaptation d'impédance. Les résultats de simulations sont présentés sur la Fig. 1(h) où nous pouvons observer que la petite source transformée émet un rayonnement similaire à une grande source en espace libre.

2. Conclusion

Cette étude montre l'intérêt de la transformation d'espace dans le domaine des antennes. En effet, nous avons présenté la conception de quatre antennes basée sur cette technique. La réalisation des antennes est possible en utilisant les propriétés intéressantes des métamatériaux. Des mesures expérimentales sur deux prototypes ont montré un bon accord avec les simulations.

Références bibliographiques

- 1- J. B. Pendry, D. Schurig, D. R. Smith, "Controlling electromagnetic fields," *Science*, vol. 312, no. 5781, pp. 1780-1782, 2006.
- 2- U. Leonhardt, "Optical conformal mapping," *Science*, vol. 312, no. 5781, pp. 1777-1780, 2006.
- 3- D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, D. R. Smith, "Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies," *Science*, vol. 314, no. 5801, pp. 977-980, 2006.
- 4- J. Allen, N. Kundtz, D. A. Roberts, S. A. Cummer, D. R. Smith, "Electromagnetic source transformations using superellipse equations," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, no. 19, 194101, 2009.
- 5- P.-H. Tichit, S. N. Burokur, D. Germain, A. de Lustrac, "Design and experimental demonstration of a high-directive emission with transformation optics," *Phys. Rev. B*, vol. 83, no. 15, 155108, 2011.
- 6- X. Wu, P.-H. Tichit, S. N. Burokur, S. Kirouane, A. Sellier, A. de Lustrac, "Numerical and experimental demonstration of a coordinate transformation-based azimuthal directive emission," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 11, pp. 2536-2540, 2012.
- 7- P.-H. Tichit, S. N. Burokur, A. de Lustrac, "Transformation media producing quasi-perfect isotropic emission," *Opt. Express*, vol. 19, no. 21, pp. 20551-20556, 2011.
- 8- P.-H. Tichit, S. N. Burokur, A. de Lustrac, "Reducing physical appearance of electromagnetic sources," *Opt. Express*, vol. 21, no. 4, pp. 5053-5062, 2013.

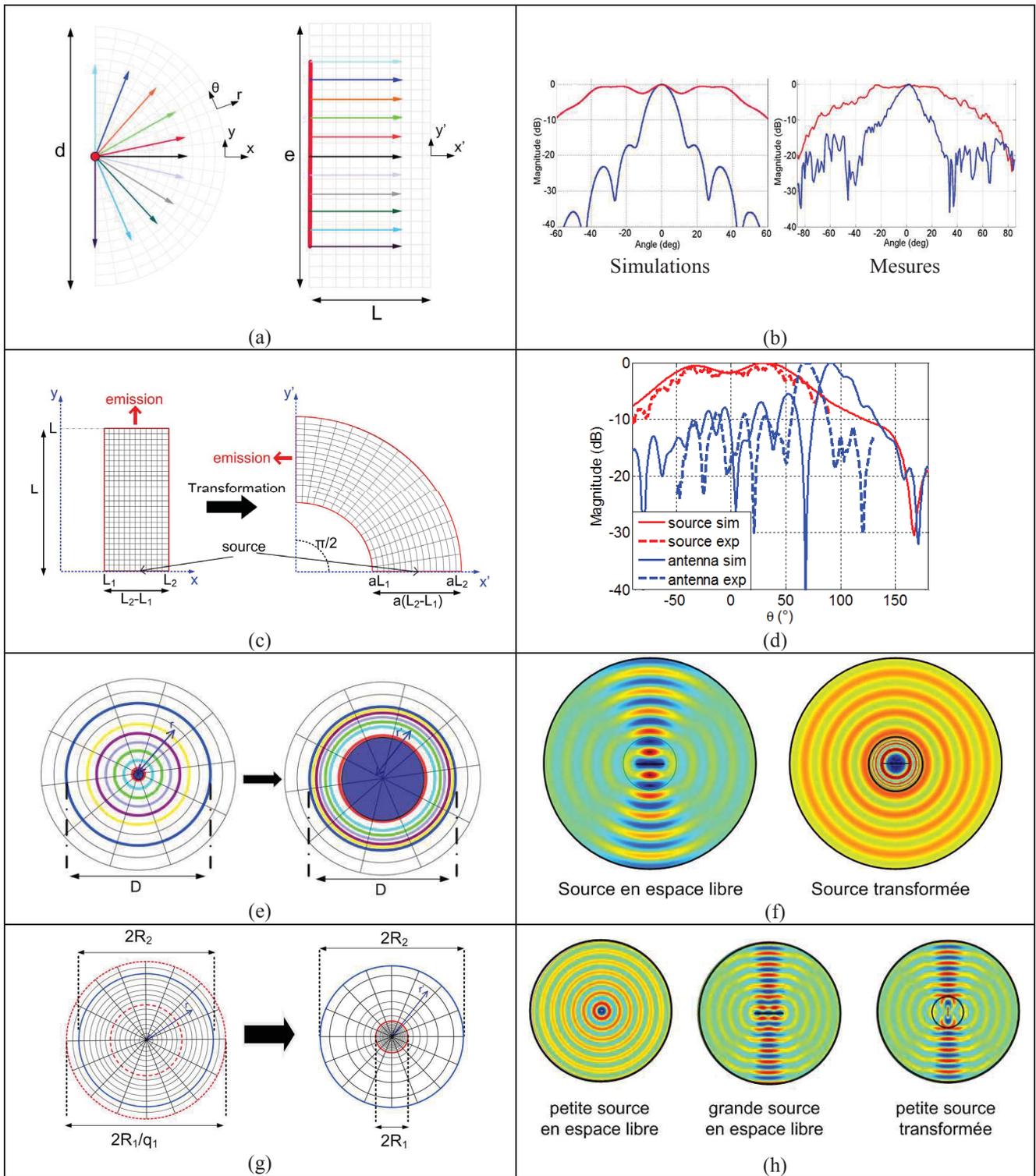


Fig. 1 : Schémas de principe des transformations d'espace et résultats obtenus pour : (a)-(b) antenne directive, (c)-(d) antenne azimutale, (e)-(f) antenne isotrope, et (g)-(h) antenne miniature.