

Ingénierie par transformations d'espace.

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

Institut d'Electronique Fondamentale, Centre Scientifique d'Orsay, 91405 Orsay, France

paul-henri.tichit@u-psud.fr

Abstract: La transformation de coordonnées spatiales est une méthode mathématique permettant de concevoir des systèmes électromagnétiques aux propriétés inhabituelles. Dans cet article nous exposons les résultats de ce concept au travers d'une antenne ultra-directive, d'un adaptateur entre 2 guides de sections différentes, et d'une cape d'invisibilité polygonale. Tous les résultats ont été validés par des simulations numériques.

INTRODUCTION

Le concept de transformation d'espace à été développé par Sir John Pendry en 2006 et validé par la fabrication de la première cape d'invisibilité en micro-ondes [1]. Le principe de fonctionnement de la transformation de coordonnées spatiales est de générer des équations de Maxwell invariantes dans un nouveau système de coordonnées par création d'une perméabilité et permittivité adaptée. Ce nouveau système de coordonnées doit contenir toutes les caractéristiques essentielles nécessaires au dispositif que l'on souhaite concevoir. Ainsi mathématiquement cela revient souvent 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 vont imiter le rôle de notre espace dessiné précédemment. Généralement ces permittivités et perméabilités sont anisotropes, inhomogènes mais peuvent être réalisées dans certains cas à l'aide de métamatériaux.

DESIGN DE NOUVEAUX SYSTEMES

Pour illustrer le concept de la transformation d'espace nous nous sommes intéressés à 3 systèmes électromagnétiques. Tout d'abord nous nous intéresserons à une antenne ultra-directive dérivée d'une antenne omnidirectionnelle [2]. Ensuite nous considérerons le cas d'un adaptateur entre 2 guides d'ondes de sections différentes pour terminer sur le cas d'une cape polygonale régulière [3]. Nous avons illustré schématiquement sur la figure 1 la forme du nouveau système de coordonnées pour les 3 cas exposés.

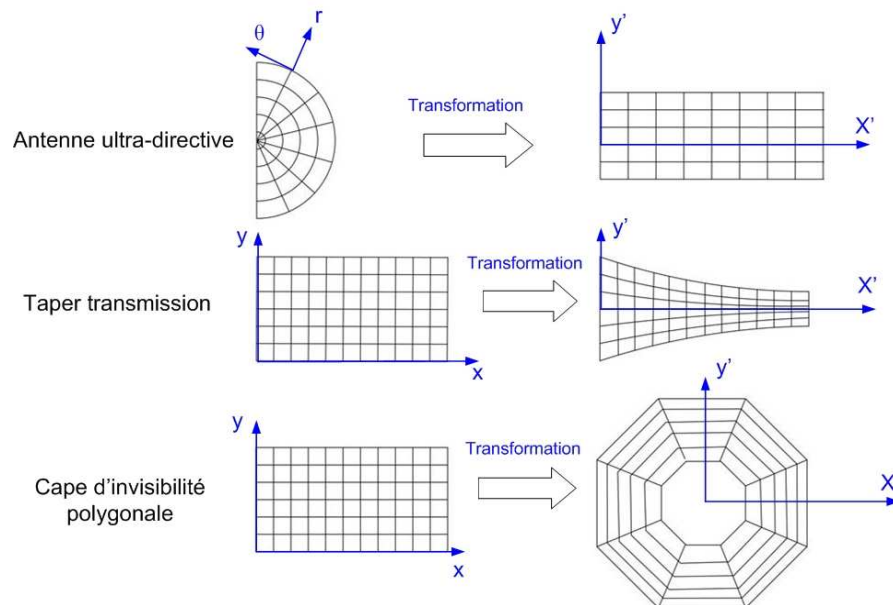


Figure1 : Transformations topologiques pour les différents systèmes électromagnétiques considérés

Comme nous pouvons le constater, dans le cas de la cape polygonale et de l'adaptateur, nous avons transformé un espace de départ en coordonnées cartésiennes en un espace final qui assure la trajectoire voulue des rayons lumineux. Dans le cas de la cape polygonale nous avons protégé une zone centrale en excluant les lignes de champs électromagnétiques et en rendant tout objet contenu dans cet espace invisible. Dans le cas de l'antenne il s'agit plutôt d'une transformation inverse dans le sens où un espace en coordonnées polaires va se transformer en un espace en coordonnées cartésiennes. Ainsi toute source placée à l'origine ne pourra émettre que dans une direction donnée.

MODELISATION ET VALIDATION NUMERIQUE

Nous illustrons dans la figure 2, la validation des 3 systèmes générés par transformations d'espace. Pour l'antenne, une source isotrope a été encastree dans le matériau comme indiqué sur la figure 1. Nous voyons que le rayonnement de sortie est très directif à la fréquence de 10GHz. De même dans le cas de l'adaptateur, la transformation d'espace permet de canaliser le champ du guide d'onde 1 dans le guide d'onde 2 illustré ici pour une fréquence de 10GHz pratiquement sans pertes avec respectivement des fréquences de coupures à 1.5GHz et 7.5GHz pour les 2 guides. La cape hexagonale présentée est conçue par juxtaposition de 6 matériaux, chacun issu par une rotation de 60° . Une onde plane monochromatique est envoyée sur la structure. Celle-ci transfère cette onde parfaitement derrière le dispositif, supprimant ainsi la diffraction et la réflexion de l'objet placé à l'intérieur.

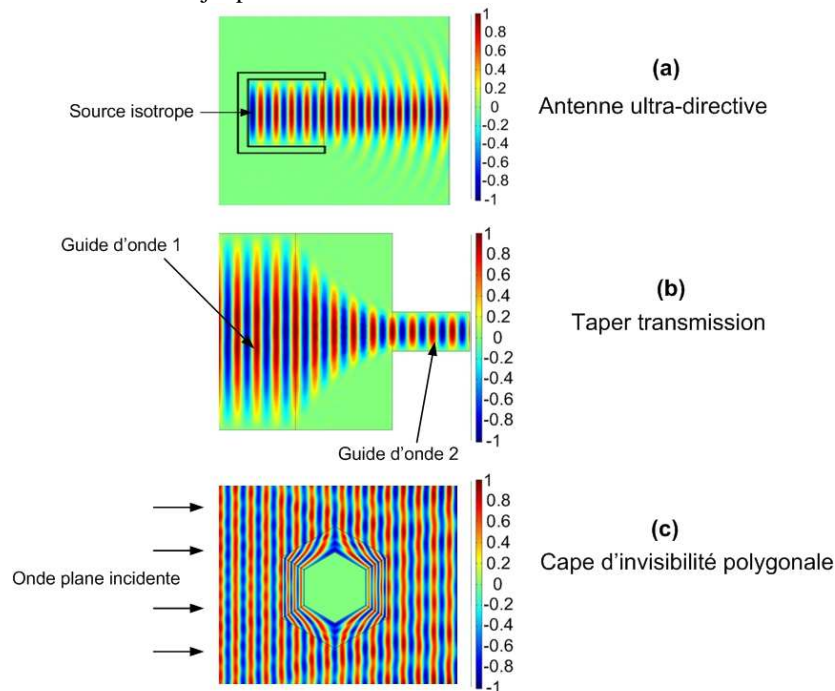


Figure2 : Champ électromagnétique pour les différents systèmes à 10GHz : Une antenne ultra-directive (a), un taper entre 2 guides de rapport de section 5 (b), et une cape d'invisibilité hexagonale (c).

Ces trois exemples permettent d'illustrer les possibilités d'applications de la transformation d'espace dans des domaines variant des ondes radio à l'optique. Toute la difficulté consiste ensuite à réaliser pratiquement le matériau correspondant aux paramètres électromagnétiques obtenus. Ceci implique souvent une simplification de ces matériaux.

CONCLUSION

Dans cet article nous avons présenté trois transformations spatiales pour 3 systèmes électromagnétiques : un adaptateur entre 2 guides d'ondes de différentes sections, une antenne ultra-directive et une cape d'invisibilité de forme polygonale régulière. Il apparaît clairement que la transformation d'espace s'avère très efficace pour la fabrication de systèmes comportant des propriétés électromagnétiques extraordinaires. De plus il est maintenant possible d'implémenter les perméabilités et permittivités à l'aide de métamatériaux comme cela a été fait pour l'antenne ultra-directive.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. B. Pendry, D. Schurig, and D. R. Smith, "Controlling electromagnetic fields," *Science* 312, 1780-1782 (2006).
- [2] P.-H. TICHIT, S. N. BUROKUR, AND A. DE LUSTRAC, « Ultra-directive antenna via transformation optics », *J. of Appl. Physic*, 105 104912 (2009).
- [3] P.-H. TICHIT, S. N. BUROKUR, AND A. DE LUSTRAC, « Waveguide taper engineering using coordinate transformation technology », *Optics Express* à paraître.