



HAL
open science

technique de compression pour les reflecteurs en utilisant loptique de transformation

Hassan Haddad, Renaud Loison, Raphaël Gillard, A. Harmouch, A Jrad

► **To cite this version:**

Hassan Haddad, Renaud Loison, Raphaël Gillard, A. Harmouch, A Jrad. technique de compression pour les reflecteurs en utilisant loptique de transformation. Journée Nationale Micro-Ondes, May 2017, Saint Malo, France. hal-01723734

HAL Id: hal-01723734

<https://hal.science/hal-01723734>

Submitted on 5 Mar 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.

Technique de compression pour les réflecteurs rétro-directifs en utilisant l'Optique de Transformation

H. Haddad^{1,2*}, R. Loison¹, R. Gillard¹, A. Harmouch², A. Jrad²

¹IETR, INSA-Rennes, 20 av. des buttes de Coësmes, 35708 Rennes, France.

²CRSI, Faculté de Génie, EDST-UL, 1300 Tripoli, Liban.

*hassan.haddad@insa-rennes.fr

Résumé – Dans ce papier, la conception d'un réflecteur diédrique comprimé via l'Optique de Transformation est abordée. La hauteur du réflecteur est réduite en utilisant un milieu homogène avec une anisotropie diélectrique. La conception proposée est validée à $f_0 = 8\text{GHz}$ par des simulations électromagnétiques en utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics.

1. Introduction

L'Optique de Transformation (O.T.) propose une formulation permettant de manipuler la lumière ou toute onde électromagnétique [1, 2].

Elle conduit à une nouvelle méthodologie de conception de dispositifs électromagnétiques, basée sur une transformation de coordonnées, dans laquelle les lignes du champ sont simplement réorganisées [3]. En pratique, elle définit les paramètres constitutifs d'un nouveau milieu de propagation. Le premier dispositif conçu à l'aide de l'OT a été une cape d'invisibilité [1, 2]. Par la suite, de nombreuses extensions ont été proposées et utilisées pour différentes applications.

Dans cette communication, nous nous intéresserons plus particulièrement à des dispositifs rétro-directifs ayant la propriété de refléter [4] les ondes vers la source dont elles sont issues. Le réflecteur rétro-directif classique est un dièdre ou un trièdre constitué de simples plaques métalliques disposées orthogonalement. Cependant, cette solution est tridimensionnelle et volumineuse et peut donc être difficile à intégrer.

Différentes solutions, certaines basées sur l'O.T., ont déjà été proposées pour concevoir des dièdres aplatis [5, 6, 7, 8 et 9]. Cependant, la plupart conduisent à des matériaux inhomogènes et anisotropes qui ne sont pas synthétisables en pratique.

Le but recherché dans cette communication est donc de concevoir à l'aide de l'O.T., un réflecteur rétro-directif aplati conservant les performances du dièdre classique et nécessitant seulement un matériau homogène et non magnétique.

Dans la partie 2, les différentes étapes suivies, en utilisant l'O.T. théorique, sont présentées. La partie 3 discute différentes simplifications permettant d'envisager

un matériau synthétisable. La partie 4 donne des remarques conclusives et des perspectives à ce travail.

2. Méthodologie et Conception Théorique

La figure 1 montre le dessin d'un réflecteur diédrique.

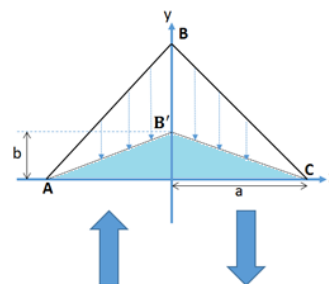


Figure 1. Vue en 2D d'un dièdre rétro-directif et le principe de la transformation de coordonnées utilisée pour l'aplatir.

Le réflecteur est constitué de deux plans conducteurs orthogonaux AB et BC. Il est éclairé par une onde se propageant vers les y positifs. Les grosses flèches représentent les ondes incidente et réfléchie. L'optique de transformation peut être utilisée afin de transformer ce réflecteur en un autre ayant hauteur inférieure et rempli d'un matériau spécifique. La transformation de coordonnées choisie dans ce scénario est représentée schématiquement par les petites flèches dirigées des lignes AB et BC aux lignes AB' et B'C. Seule la coordonnée y a été transformée. La transformation est basée sur une compression linéaire, comme indiqué dans les équations (1-3) ci-dessous.

$$x' = x \quad (1)$$

$$y' = \frac{b}{a}y \quad (2)$$

$$z' = z \quad (3)$$

où a et b sont les dimensions finales du réflecteur.

Dans cette transformation, l'espace libre virtuel (x, y, z) est transformé en une zone comprimée (zone surlignée sur la fig. 1) dans l'espace physique (x', y', z') . En se basant sur la procédure de l'OT, on peut calculer les tenseurs de la permittivité et de la perméabilité relative du matériau remplissant le réflecteur aplati en utilisant les équations suivantes : $[\epsilon'] = \frac{[A].[A]^T}{|A|} \cdot [\epsilon]$ et $[\mu'] = \frac{[A].[A]^T}{|A|} \cdot [\mu]$ où $[A]$ est la matrice Jacobienne de la transformation de

coordonnées utilisée dans [1]. On aboutit ainsi à l'équation (4) suivante :

$$[\epsilon'] = [\mu'] = \begin{bmatrix} \frac{a}{b} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{b}{a} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{a}{b} \end{bmatrix} \quad (4)$$

L'avantage de choisir une transformation de coordonnées linéaire est que le matériau anisotrope obtenu est homogène.

Pour illustrer cette transformation, des simulations électromagnétiques basées sur la méthode des éléments finis ont été réalisées en utilisant le simulateur COMSOL. Deux réflecteurs compressés sont considérés. Pour le premier $a = 2b = 15\lambda_0$ et pour le second, $a = 4b = 15\lambda_0$ où λ_0 est la longueur d'onde en espace libre de l'onde incidente à 8 GHz. La figure 2 montre la comparaison entre les champs électriques pour le réflecteur classique et les deux réflecteurs compressés pour une polarisation TM (champ magnétique selon z). Dans toutes les simulations, l'onde incidente est représentée par un faisceau gaussien de largeur $w = 4\lambda_0$.

D'après la figure 2, la rétro-directivité du réflecteur classique est conservée pour n'importe quel facteur de compression lors de l'utilisation de l'O.T.

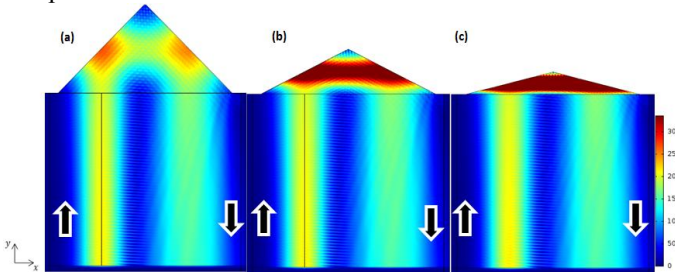


Figure 2. Normes des champs électriques pour : (a) réflecteur classique, (b) réflecteur compressé en utilisant l'OT pour $a = 2b$, (c) pour $a = 4b$. Incidence normale et polarisation TM.

3. Mise en Œuvre Pratique

En réalité, pour une polarisation TM, seules les composantes ϵ_x , ϵ_y et ϵ_z des tenseurs (4) sont utiles. De plus, il est montré dans [10] que le même comportement, que celui obtenu précédemment, peut être conservé avec un matériau différent, dès lors que les produits $\epsilon_x\epsilon_z$ et $\epsilon_y\epsilon_z$ restent inchangés. On choisit donc de multiplier $[\epsilon']$ par a/b et $[\mu']$ par b/a de façon à avoir $\mu_z=1$. On obtient alors :

$$[\epsilon'] = \begin{bmatrix} \frac{a^2}{b^2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{bmatrix}, [\mu'] = \begin{bmatrix} \mu_x & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

On rappelle que pour une onde TM, ϵ_z , μ_x et μ_y n'ont pas d'importance et peuvent donc être arbitrairement fixés à 1. Le matériau obtenu est donc finalement un matériau non magnétique avec une simple anisotropie diélectrique uniaxiale.

Les simulations (figure 3) confirment la rétro-directivité est conservée pour les deux taux de compression testés. Toutefois, la modification des tenseurs initiaux entraîne un changement de l'impédance d'onde présentée par le

matériau. Une couche d'adaptation doit donc théoriquement être ajoutée pour limiter les réflexions parasites à l'interface avec l'air.

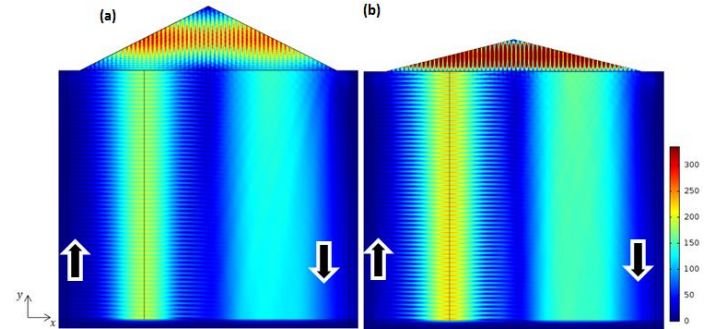


Figure 3. Normes des champs électriques en utilisant ϵ' et μ' réduit pour (a) $a = 2b$ ($\epsilon_x = 4$, $\epsilon_y = 1$) et (b) $a = 4b$ ($\epsilon_x = 16$, $\epsilon_y = 1$).

4. Conclusion

L'O.T. a été appliquée pour aplatir un réflecteur diédrique en utilisant une compression linéaire. Le matériau résultant présente l'intérêt d'être homogène. Le principe a été validé à l'aide des simulations électromagnétiques rigoureuses. Une mise en œuvre pratique à l'aide d'un matériau diélectrique uni-axial est envisageable en polarisation TM moyennant l'utilisation d'une couche d'adaptation.

Références

- [1] Leonhardt U., Optical conformal mapping. Science 312, 1777–1780 (2006).
- [2] Pendry, J. B., Schurig, D., Smith, D. R., Controlling electromagnetic fields. Science 312, 1780–1782 (2006).
- [3] N. B. Kundtz, D. R. Smith, and J. B. Pendry, "Electromagnetic design with transformation optics," Proc. IEEE, vol. 99, no. 10, pp. 1622–1633, Oct. 2011. 13.
- [4] D. Schurig, J. B. Pendry, and D. R. Smith, "Calculation of material properties and ray tracing in transformation media," Opt. Express 14, 9794–9804 (2006).
- [5] F. Kong, B. I. Wu, J. A. Kong, J. Huangfu, S. Xi, and H. Chen, "Planar focusing antenna design by using coordinate transformation technology", App. Phys. Lett. 91, 253509 (2007).
- [6] I. Gallina, G. Castaldi, and V. Galdi, "Transformation Media for Thin Planar Retrodirective Reflectors", IEEE Antennas Wireless Propag. Lett. 7, 603–605 (2008).
- [7] Y. Luo, L. He, S. Zhu, Helen L. W. Chan, and Y. Wang, "Flattening of conic reflectors via a transformation method", Phys. Rev. A 84, 023843 (2011).
- [8] Shuai, Yijun, Tian, Junming, "Designing retrodirective reflector on a planar surface by transformation optics", AIP Advances, 3, 012113 (2013).
- [9] D. Lipuma, S. Meric, R. Gillard, « RCS enhancement of a flattened dihedral corner reflector using a reflectarray approach », IET Electronic Letters, Vol. 49, Issue 2, pp. 152 – 154, January 2013.
- [10] D. Schurig, J. B. Pendry, D. R. Smith, "Calculation of material properties and ray tracing in transformation media," Opt. Express 14, 9794–9804 (2006).