



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

### Titre : Métamatériaux à gradient d'indice pour les antennes-lentilles

### Title: Gradient index metamaterials for lens antennas

---

*A. Dhouibi\**, *S. N. Burokur\*\**, *A. de Lustrac\*\*\**, *Alain Priou\*\*\*\**

\* LEME, Univ. Paris Ouest, EA 4416, Ville d'Avray, F-92410, a.dhouibi@u-paris10.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

\*\*\*\* LEME, Univ. Paris Ouest, EA 4416, Ville d'Avray, F-92410, alain.priou@u-paris10.fr

---

Mots-clefs : métamatériau, gradient d'indice, antenne-lentille, large-bande.

Keywords: metamaterial, gradient index, lens-antenna, broadband.

---

#### Résumé

Des lentilles à gradient d'indice sont proposées pour transformer une onde cylindrique en une onde plane. Ces lentilles sont conçues à partir de l'ingénierie de cellules à métamatériaux sur une large bande de fréquences. Une source adaptée en bande X est utilisée pour exciter les lentilles. Les systèmes antenne-lentille conçues en technologie circuit imprimé sont de faible encombrement et présentent une émission directive dans le plan H. Un très bon accord est observé entre les mesures faites sur les structures antennaires conçues et les simulations numériques.

#### Introduction

Les avancées dans les études des interactions onde-matière nous permettent aujourd'hui d'envisager la conception de nouveaux types de dispositifs antennaires basés sur le contrôle des paramètres électromagnétiques des métamatériaux. De nombreuses études et expériences ont été menées sur les structures à gradient d'indice (GRIN) ces dernières années [1]. L'utilisation de telles structures permet principalement de focaliser les ondes radio par l'utilisation de structures sphériques ou hémisphériques à saut d'indice. Des travaux récents ont été menés sur de telles lentilles et notamment sur leurs analyses électromagnétiques pour les présenter comme alternatives aux lentilles diélectriques conventionnelles. En effet, au lieu de contrôler le trajet de l'onde à l'interface entre deux diélectriques différents, on le fait par le gradient d'indice dans une structure à métamatériaux. Dans ce papier, nous étudions deux lentilles ; la lentille de Luneburg [2] et la demi-lentille Maxwell fish-eye (HMFE) [3]. Ces deux lentilles sont capables de transformer une onde cylindrique incidente en une onde plane. Des lentilles à gradient d'indice obtenues par l'utilisation de métamatériaux ont été présentées dans la littérature [4, 5]. Leurs validations expérimentales ont été faites soit en utilisant des antennes cornets ou des transitions coaxial-guide pour illuminer les lentilles, ce qui augmente considérablement l'encombrement des antennes-lentilles et rendent donc ces antennes difficilement intégrables.

Nous nous focalisons donc sur l'association d'une source planaire compacte avec des lentilles à gradient d'indice. Nous proposons ainsi la réalisation de deux systèmes antennaires directifs, compacts et plats composés d'une source imprimée et d'une lentille à gradient d'indice planaire. Ces antennes fonctionnent sur une large-bande de fréquences et peuvent être facilement intégrés dans des systèmes de communications RF.

#### 1. Métamatériaux à gradient d'indice large-bande

Le gradient d'indice nécessaire à la réalisation des deux lentilles (Luneburg et HMFE) qui opèrent dans la bande 8 GHz – 12 GHz est obtenu par l'inclusion de motifs rectangulaires à fentes (Complementary Closed Ring « CCR ») (Fig. 1(a)) sur un substrat diélectrique Rogers RT/Duroid® 5880 ayant une permittivité relative  $\epsilon_r = 2,2$  et des pertes ( $\tan \delta$ ) de l'ordre de 0.0009. Ce méta-atome fonctionne dans une configuration de guide d'ondes Quasi-TEM et présente une résonance magnétique quand le champ électrique E est normal au plan de la cellule. Les propriétés de la cellule sont caractérisées avec le logiciel commercial CST Microwave Studio. Ce méta-atome est utilisé à des fréquences beaucoup

plus basses que sa fréquence de résonance ; ce qui permet d'assurer une valeur constante de l'indice de réfraction dans la bande utile de l'antenne, comme illustré sur la Fig. 1(b).

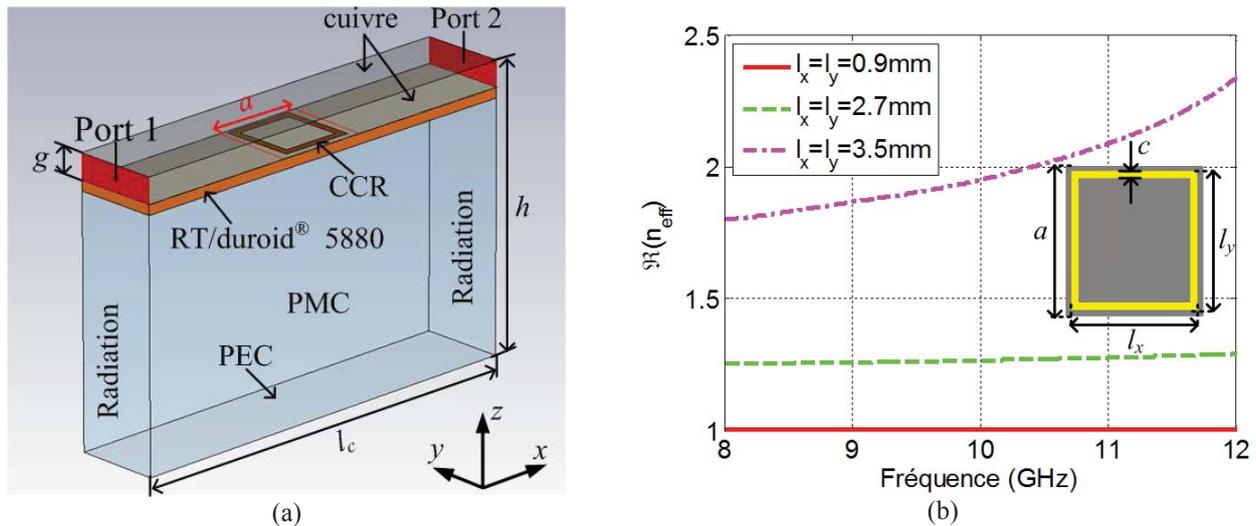


Fig. 1 : (a) Cellule de métamatériau utilisée en simulation pour le gradient d'indice. (b) Partie réelle de l'indice obtenu pour différentes dimensions de la cellule. Les dimensions géométriques sont :  $g = 1$  mm,  $h = 11$  mm,  $a = 3.6$  mm et  $c = 0.3$  mm.

## 2. Antennes-lentilles

Le matériau à gradient d'indice représentant la lentille est inséré entre deux plaques métalliques parallèles (guide d'ondes Quasi-TEM) de dimensions  $130 \times 190$  mm<sup>2</sup> et espacées de  $h = 11$  mm. La lentille est fixée sur un support en mousse de type Rohacell ayant une permittivité proche de l'unité. Pour générer un point source à la périphérie des lentilles, une antenne plane de type Vivaldi est insérée entre les deux plaques métalliques délimitant le guide d'ondes Quasi-TEM (Fig. 2(a)). La Fig. 2(b) présente l'adaptation simulée et mesurée de l'antenne-lentille. L'insertion des métamatériaux représentant la lentille n'a que très peu d'influence sur l'adaptation de la source Vivaldi seule dans le guide Quasi-TEM.

### 2.1. Lentille de Luneburg

La cartographie du champ électrique à la surface de la lentille de Luneburg entre les plaques parallèles est présentée sur la Fig. 2(c). Les fronts d'ondes incidents émis par la source Vivaldi traversent la lentille avec très peu de réflexions et se transforment en ondes quasi-planes sur le côté opposé de la lentille. Des mesures faites en chambre anéchoïque sur cette antenne-lentille montrent des diagrammes très directifs dans le plan H sur toute la bande de fréquences 8 GHz – 12 GHz (Fig. 2(e)).

### 2.2. Lentille HMFE

La distribution du champ électrique à la surface de la lentille HMFE intégrée dans le guide Quasi-TEM est présentée sur la Fig. 2(d). Comme dans le cas de la lentille de Luneburg, les fronts d'ondes incidents émis par la source Vivaldi traversent la lentille avec très peu de réflexions et se transforment en ondes quasi-planes sur le côté plan de la lentille. Des mesures faites sur ce système antennaire montrent des diagrammes très directifs dans le plan H sur toute la bande de fréquences 8 GHz – 12 GHz (Fig. 2(f)).

## 3. Conclusion

Cette étude montre l'intérêt des métamatériaux dans le domaine des antennes. En effet, nous avons présenté la mise en œuvre de deux antennes-lentilles planaires large-bande fonctionnant sur la toute la bande X. Cette réalisation a été rendue possible en utilisant des métamatériaux complémentaires de type CCR pouvant produire des valeurs d'indice stable sur une large bande de fréquences et aussi en utilisant une source plane pour diminuer l'encombrement du système. La cartographie du champ électrique à la surface des lentilles montre une transformation des ondes cylindriques en ondes quasi-planes. Les mesures en champ lointain effectuées sur ces antennes montrent un rayonnement directif dans le plan H sur la bande de fréquences [8 GHz – 12 GHz].

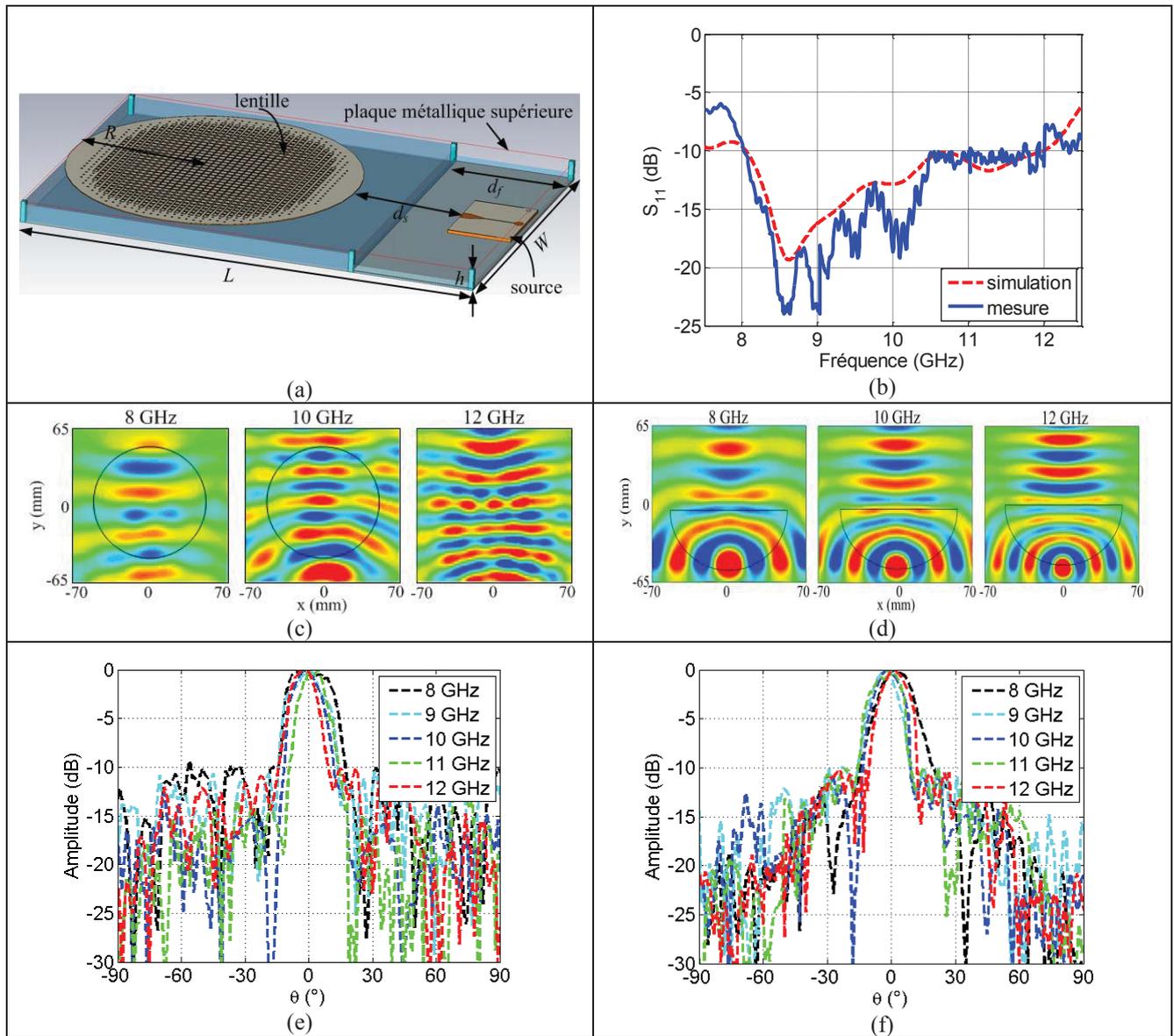


Fig. 2 : (a) Configuration des antennes-lentilles. (b) Adaptation des antennes proposées. (c)-(d) Cartographie du champ électrique dans l'antenne-lentille Luneburg et HMFE. (e)-(f) Diagrammes de rayonnement de l'antenne-lentille Luneburg et HMFE.

### Références bibliographiques

- 1- R. Liu, Q. Cheng, J. Y. Chin, J. J. Mock, T. J. Cui, D. R. Smith, "Broadband gradient index microwave quasi-optical elements based on non-resonant metamaterials," *Opt. Express*, vol. 17, no. 23, pp. 21030-21041, Nov. 2009.
- 2- R. K. Luneburg, *Mathematical Theory of Optics*. Providence, RI: Brown Univ. Press, 1944.
- 3- B. Fuchs, O. Lafond, S. Rondineau, M. Himdi, "Design and characterization of half Maxwell fish-eye lens antennas in millimeter waves," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 6, pp. 2292-2300, June 2006.
- 4- Q. Cheng, H. F. Ma, T. J. Cui, "Broadband planar luneburg lens based on complementary metamaterials," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 95, no. 18, 181901, Nov. 2009.
- 5- Z. L. Mei, J. Bai, T. M. Niu, T. J. Cui, "A half maxwell fish-eye lens antenna based on gradient-index metamaterials," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 1, pp. 398-401, Jan. 2012.