



HAL
open science

Réduction de la diffraction d'un cylindre métallique par une métasurface éparsée

François Villamizar, Fabrice Boust, S N Burokur, Cédric Martel, Sylvain
Bolioli

► **To cite this version:**

François Villamizar, Fabrice Boust, S N Burokur, Cédric Martel, Sylvain Bolioli. Réduction de la diffraction d'un cylindre métallique par une métasurface éparsée. Neuvième Conférence Plénière du GDR ONDES, Nov 2021, Lille, France. hal-03547150

HAL Id: hal-03547150

<https://hal.science/hal-03547150v1>

Submitted on 28 Jan 2022

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.

Réduction de la diffraction d'un cylindre métallique par une métasurface épaisse

F. Villamizar¹, F. Boust², S. N. Burokur³, C. Martel¹, S. Bolioli¹

¹ : ONERA / DEMR Université de Toulouse, F31055 Toulouse, France

² : DEMR, ONERA Université Paris Saclay, F91123 Palaiseau, France

³ : LEME UPL, Univ Paris Nanterre, F92410 Ville d'Avray, France
 francois.villamizar@onera.fr

Résumé

Le travail présenté exploite une procédure de conception basée sur de la simulation afin de créer une métasurface épaisse conforme pour la réduction de la diffraction d'un cylindre métallique, lorsque celui-ci est illuminé par une onde plane.

1. Introduction

Réduire le rayonnement rétrodiffusé par un objet dans toutes les directions, et lui permettant ainsi d'être invisible, s'est présenté être un challenge scientifique d'intérêt majeur ces dernières décennies [1]–[4].

La technologie de camouflage électromagnétique trouve de nombreuses applications, telles que la furtivité et la réduction du couplage inter-antennes [5]. Entre-temps, les métasurfaces ont connu un développement sans précédent et s'avèrent être un outil électromagnétique puissant pour le contrôle de fronts d'onde. Ainsi, nous proposons une métasurface conforme et épaisse, capable de réduire la diffraction d'un cylindre lorsque celui-ci est illuminé par une onde plane, en nous basant sur la méthodologie développée dans [6].

2. Structure considéré

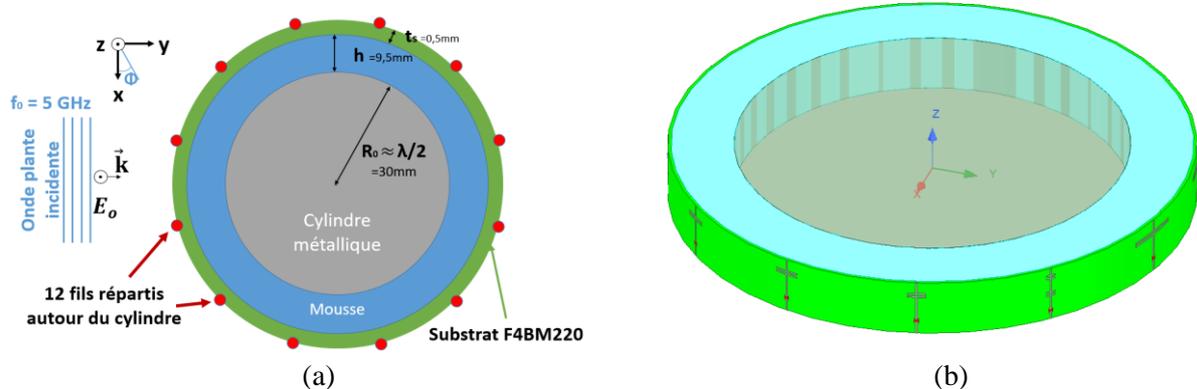


Figure 1. (a) Schéma 2-D du cylindre métallique entouré d'une métasurface conforme, composée de 12 fils chargés. Le rayon effectif r_{eff} des fils a été élargi pour plus de clarté. (b) Illustration de la maquette, qui s'étend théoriquement à l'infini suivant l'axe z . Le modèle du fil infinitésimal est remplacé par une cellule unitaire composée d'une résistance localisée et d'une capacité imprimée.

Considérons la structure telle que représentée sur la Figure 1. Un cylindre métallique de diamètre de l'ordre de la longueur d'onde λ est entouré d'une métasurface composée de N fils chargés distribués autour d'un substrat d'épaisseur t_s . Les fils sont modélisés comme des cylindres de rayon efficace r_{eff} ($\ll \lambda$) auxquels une densité d'impédance linéique est imposée. Ils sont orientés suivant l'axe d'invariance de translation z . La structure est illuminée par une onde plane, dont le champ électrique E_0 est orienté suivant z et se propageant suivant les y -croissants. L'onde plane va exciter à la surface des fils des courants de polarisation qui vont émettre un champ. Selon l'impédance de charge que l'on impose à chaque fil, le champ rayonné en zone lointaine peut être contrôlé. Il est alors possible de favoriser le rayonnement dans des directions privilégiées [6].

3. Réduction du champ diffracté par le cylindre

Nous pouvons également nous placer dans un cas de figure particulier où l'on cherche à annuler totalement le champ lointain diffracté total dans des directions privilégiées. Grâce à cette approche, il est possible de faire face au problème de camouflage. Considérons alors le cas de figure concret où la fréquence de travail est $f_0 = 5$ GHz et le rayon R_0 du cylindre métallique est de 30 mm ($\sim \lambda/2$). Le cylindre est entouré d'une mousse (permittivité très proche de celle de l'air) d'épaisseur $h = 9.5$ mm sur laquelle est placé un substrat d'épaisseur $t_s = 0,5$ mm et de permittivité $\epsilon_s = 2.2$. Il s'agit de la structure représentée sur la Figure 1.

En distribuant régulièrement 12 fils « actifs » sur le substrat autour de notre cylindre, nous parvenons à efficacement réduire le champ dans toutes les directions et rendre ainsi le cylindre métallique invisible à l'onde plane incidente (Figure 2 a). Par contre, ces fils actifs nécessitent l'emploi d'éléments actifs, dont l'implémentation physique est immature actuellement. En revanche, il est possible de significativement diminuer le champ diffracté par ce cylindre à l'aide de composants passifs à pertes, dans toutes les directions à l'exception vers l'avant (comme l'impose le théorème optique [4]). Dans la perspective d'une réalisation expérimentale de la structure nous avons donc borné la partie réelle des densités d'impédances linéiques employées au demi-plan ouvert à droite.

En pratique, le modèle du fil infinitésimal pourra alors être remplacé par une cellule unitaire physiquement réalisable : la partie réelle de l'impédance est réalisée par une résistance localisée et la partie imaginaire (généralement négative) par une capacité imprimée (Figure 1). Or, comme nous nous limitons à des composants à pertes, il ne sera pas possible de totalement éliminer le champ diffracté du cylindre (Figure 2 b).

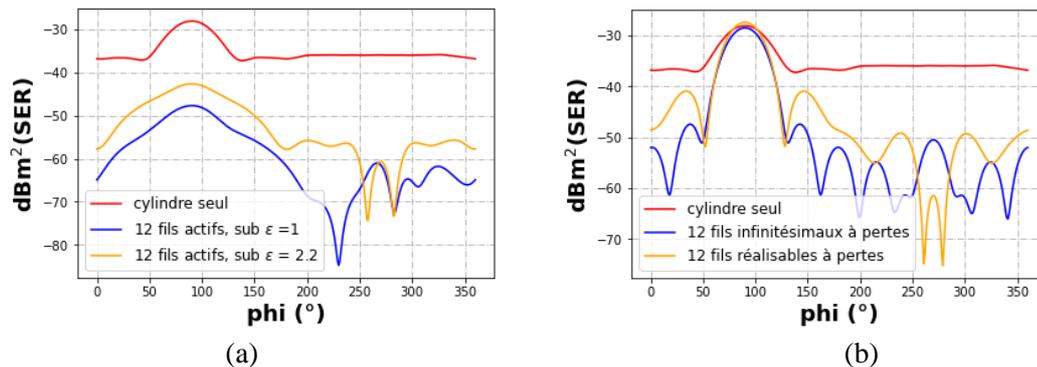


Figure 2. (a) Surface équivalente radar (SER) du cylindre métallique seul (rouge), du cylindre enrobé d'une métasurface constituée de 12 fils infinitésimaux « actifs » placés sur un substrat $\epsilon = 1$ (bleu) et $\epsilon = 2.2$ (orange) d'épaisseur $t_s = 10$ mm. (b) SER du cylindre enrobé d'une métasurface constituée de 12 fils à pertes disposés sur un substrat $\epsilon = 2.2$ d'épaisseur $t_s = 0.5$ mm, placé sur une mousse d'épaisseur $h = 9.5$ mm : modèle de fils cylindriques infinitésimaux (bleu) et fils réalisables physiquement (orange).

4. Conclusion

Nous avons modélisé une métasurface épaisse et conforme afin de camoufler un cylindre métallique. Une réduction considérable du champ diffracté par le cylindre est réalisée en employant une métasurface épaisse à 12 fils. Il est possible de totalement camoufler le cylindre en employant 12 fils intégrant des éléments actifs, néanmoins l'emploi de ceux-ci est immature pour une implémentation pratique.

6. Bibliographie

- [1] D. Schurig *et al.*, "Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies," *Science*, vol. 314, no. 5801, pp. 977–980, Nov. 2006.
- [2] P. Alitalo and S. Tretyakov, "Electromagnetic cloaking with metamaterials," vol. 12, no. 3, p. 8, 2009.
- [3] R. Fleury, F. Monticone, and A. Alù, "Invisibility and Cloaking: Origins, Present, and Future Perspectives," *Phys. Rev. Applied*, vol. 4, no. 3, p. 037001, Sep. 2015.
- [4] T. Beeharry, A. Díaz-Rubio, V. Asadchy, H. H. Ouslimani, and Sergei Tretyakov, "Step-wise homogeneous passive coatings for reduction of electromagnetic scattering from cylindrical metallic bodies," *J. Opt.*, vol. 22, no. 10, p. 105601, Oct. 2020.
- [5] N. Kumutha, K. Hariharan, N. Amutha, and B. Manimegalai, "Review of RF Cloaking Techniques for Antenna Applications," vol. 33, no. 8, p. 6, 2018.
- [6] V. Popov, S. N. Burokur, and F. Boust, "Conformal sparse metasurfaces for wavefront manipulation," *Phys. Rev. Applied*, vol. 14, no. 4, p. 044007, Oct. 2020.