



HAL
open science

Conception d'un absorbant ultra léger de faible épaisseur pour applications spatiales

Yenni Pinto, Julien Sarrazin, Anne Claire Lepage, Xavier Begaud, Nicolas Capet

► To cite this version:

Yenni Pinto, Julien Sarrazin, Anne Claire Lepage, Xavier Begaud, Nicolas Capet. Conception d'un absorbant ultra léger de faible épaisseur pour applications spatiales. Conference JNM 2013, May 2013, Paris, France. hal-00948118

HAL Id: hal-00948118

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-00948118>

Submitted on 29 Apr 2014

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.

Conception d'un absorbant ultra léger de faible épaisseur pour applications spatiales

Yenny Pinto¹, Julien Sarrazin², Anne Claire Lepage¹, Xavier Begaud¹, Nicolas Capet³

¹ Institut Mines-Télécom, Télécom ParisTech - LTCI CNRS UMR 5141
46 rue Barrault 75634 Paris cedex 13

²UPMC - L2E - 4, place Jussieu - 75252 Paris cedex 05

³ Centre National d'Etudes Spatiales, 18, Avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9
pintobal@telecom-paristech.fr

Résumé

Cet article présente la conception, la réalisation et les performances simulées et mesurées d'un matériau absorbant ultra léger de faible épaisseur pour applications spatiales. Il est constitué d'une structure SHIR (Surface à Haute Impédance Résistive). L'absorbant présente un coefficient de réflexion inférieur à -15dB en bande S [2-2.3GHz] pour une incidence normale. Les résultats de simulation sont validés par des résultats expérimentaux.

1. Introduction

Un matériau absorbant permet de réduire fortement la réflexion d'une onde incidente sur une surface. Pour des applications spatiales, ces matériaux peuvent par exemple être placés sur le satellite afin de réduire les interférences entre les antennes et/ou le porteur et ainsi optimiser le fonctionnement d'un système radar en particulier.

Une méthode classique de conception d'un absorbant consiste à insérer des pertes sur la surface du matériau. L'écran de Salisbury [1] est un exemple de cette approche où une couche résistive est placée au-dessus d'une surface métallique à une distance égale au quart de la longueur d'onde. L'inconvénient majeur de cette structure, par nature résonnante, est son fonctionnement sur une bande de fréquences étroite. L'absorbant de Jaumann [2], constitué de plusieurs couches résistives espacées d'environ un quart de longueur d'onde, fonctionne sur une large bande. Néanmoins, cette technique augmente considérablement l'épaisseur de la structure.

En 2002, Engheta propose d'introduire des métamatériaux dans la conception d'absorbants [3]. Cette approche constitue une rupture technologique puisqu'elle permet de réduire drastiquement l'épaisseur. Ainsi, dans [4] est proposée l'utilisation d'une Surface Haute Impédance (SHI) associée à un matériau résistif comme absorbant. Ce type de structures, dénommées SHIR (Surfaces à Haute Impédance Résistives), est constitué de motifs métalliques périodiques imprimés sur un

substrat diélectrique au-dessus d'un plan de masse ; les motifs métalliques étant interconnectés par des résistances. Un tel matériau présente l'avantage d'être léger et de faible épaisseur.

Dans cet article, un absorbant basé sur une structure SHIR classique est présenté. Il est optimisée pour avoir de bonnes performances d'absorption ($|\Gamma| < -15\text{dB}$ dans la bande [2 - 2.3GHz] soit 14%) pour une incidence normale, tout en remplissant certaines contraintes spécifiques aux applications spatiales comme une densité massique inférieure à 2.5kg/m^2 et une épaisseur inférieure à 50 mm.

2. SHIR classique

2.a. Description de la structure

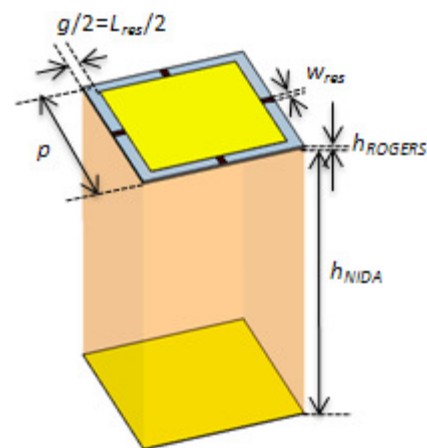


Figure 1. Cellule unitaire ($h_{NIDA} = 25\text{ mm}$, $h_{ROGERS} = 0.203\text{ mm}$, $p = 13\text{ mm}$, $g = 2\text{ mm}$)

La Figure 1 montre la cellule unitaire de la structure SHIR proposée. Celle-ci est constituée de patches en cuivre carrés gravés sur un substrat Rogers RO4003 ($\epsilon_r = 3.38 \pm 0.05$). En dessous, se trouvent une couche de nid d'abeille ($\epsilon_r = 1.08$) puis le plan de masse constitué d'un film de cuivre. Les résistances interconnectant les patches sont réalisées avec du film résistif TICER de largeur $W_{res} = 0.53\text{ mm}$, de résistivité $R_s = 100\Omega/\text{carré}$ et

d'épaisseur $t=0.1\mu\text{m}$. Le choix d'une longueur de film $L_{\text{res}} = 2 \text{ mm}$ permet d'obtenir une résistance totale de 377Ω , d'après la relation (1).

$$R = R_s * L_{\text{res}} / W_{\text{res}} \quad (1)$$

La structure est simulée et optimisée en utilisant le solveur fréquentiel de CST Microwave Studio®. L'application de conditions aux limites périodiques dans le plan de la cellule permet de simuler le comportement du réseau supposé infini.

2.b. Réalisation

La Figure 2 illustre le prototype. Les différentes couches (substrat avec les patches et film résistif, nid d'abeille et film de cuivre) sont assemblées en utilisant un film adhésif double face. Ses dimensions sont de $578 \times 428 \text{ mm}$ avec une épaisseur de 25.25 mm , et sa masse surfacique est de 2.473 kg/m^2 . Le prototype remplit certaines contraintes spécifiques à une application spatiale comme une épaisseur inférieure à 50 mm et une densité de masse inférieure à 2.5 kg/m^2 .

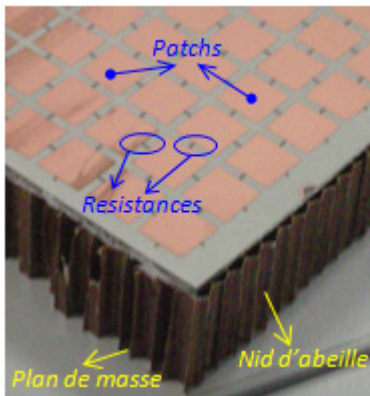


Figure 2. Structure SHIR réalisée.

2.c. Mesures

L'obtention du coefficient de réflexion du matériau absorbant est réalisée en deux étapes et prend comme référence la réflexion sur un plan métallique. D'abord la réflexion de la référence (Γ_{PEC}) et du matériau absorbant (Γ_{SHIR}) sont successivement mesurés, et le coefficient de réflexion du matériau absorbant est ensuite calculé comme indiqué en (2).

$$\left| \Gamma_{\text{SHIR_corrigé}} \right| = \frac{\left| \Gamma_{\text{SHIR}} \right|}{\left| \Gamma_{\text{PEC}} \right|} \quad (2)$$

Les mesures en incidence normale sont réalisées comme indiqué sur la Figure 3. Elles sont effectuées en utilisant deux antennes cornets, espacées d'une distance d_a , et positionnées à une distance d_{am} du matériau sous test, qui est à son tour placé à une hauteur de 1.15 m du sol. Les tests sont réalisés dans deux scénarii différents,

le premier en chambre anéchoïque et le deuxième en laboratoire.

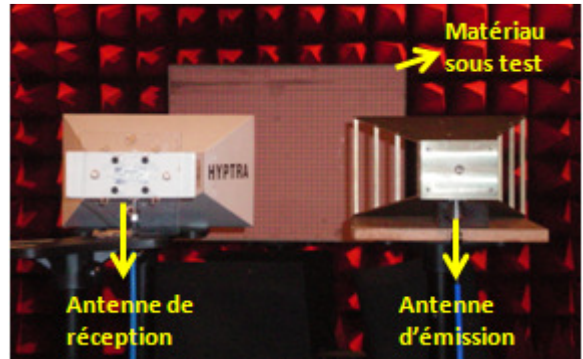


Figure 3. Dispositif de mesure en incidence normale

3. Résultats

La figure 4 montre le résultat de simulation (courbe noire); le résultat de mesure en laboratoire (courbe rouge) et en chambre anéchoïque (courbe bleue). On observe une très bonne concordance entre les deux mesures, tandis que la simulation est légèrement décalée en fréquence. Le décalage en fréquence entre la simulation et la mesure est de l'ordre de 10% .

Les oscillations de la mesure en chambre anéchoïque sont moins importantes que celles observées en laboratoire, du fait d'un environnement moins perturbé. Toutefois, la concordance entre les courbes met en évidence la validité des tests en laboratoire.

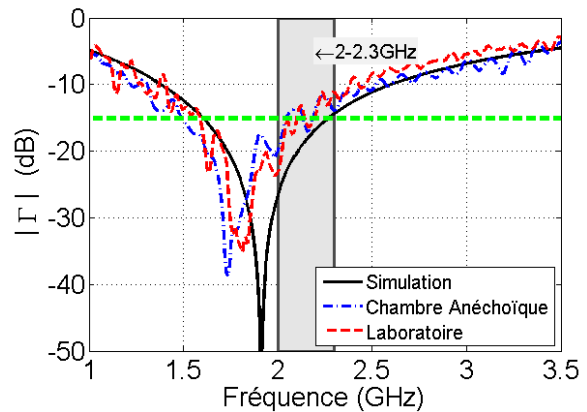


Figure 4. Module des coefficients de réflexion mesuré et simulé ($d_a = 3 \text{ cm}$, $d_{am} = 107 \text{ cm}$)

La présence d'oscillations peut être expliquée par les échos entre les deux antennes utilisées, les antennes cornets ayant une surface métallique relativement importante.

Nous nous intéressons ensuite à l'effet sur le coefficient de réflexion de la distance entre antennes et le matériau absorbant sous test (d_{am}). L'impact de la distance entre antennes (d_a) est également évalué par la mesure.

La figure 5 présente les mesures en laboratoire du coefficient de réflexion en fonction de la distance d_{am} . On note que le matériau se situe dans la zone de champ proche des antennes cornets pour une valeur d_{am} inférieure à 102cm à 1.6GHz. La distance ne semble pas avoir une influence majeure sur les courbes résultantes (figure 5).

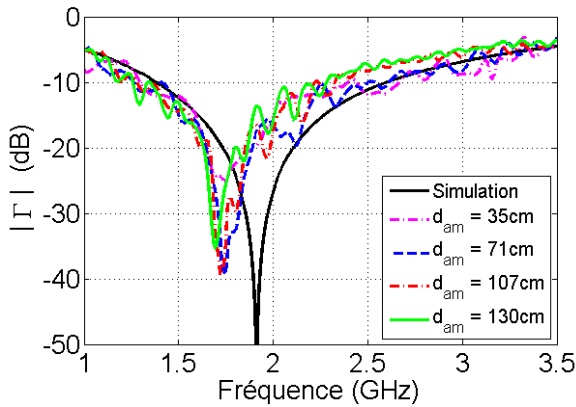


Figure 5. Influence de la distance entre les antennes et le matériau ($d_a=8\text{cm}$)

Le deuxième facteur à étudier est la distance entre les antennes (d_a), ce qui est représenté sur la Figure 6. Les oscillations peuvent être, d'après l'expérience, minimisées en augmentant la distance de séparation entre les antennes. L'angle d'incidence varie de 0.8° à 4.3° lorsque d_a passe de 3cm à 15cm.

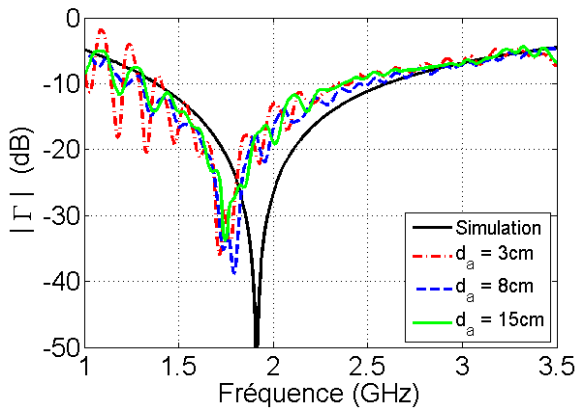


Figure 6. Influence de la distance entre les antennes et le matériau ($d_{am}=107\text{cm}$)

Les décalages en fréquence et en niveau d'absorption peuvent trouver leur explication dans les imperfections de réalisation. D'ailleurs, la simulation ne tient pas compte de la couche de colle et la valeur de la résistance n'est pas précise, car elle a une tolérance de $\pm 10\%$. Nous avons réalisé des simulations complémentaires pour évaluer la sensibilité des performances de l'absorbant par rapport à la présence de la colle (film adhésive double face) et à la variabilité de la résistance.

3.d. Sensibilité des performances à la présence de la colle

La présence de la colle est prise en compte dans les simulations complémentaires. Ainsi, deux couches de

colle sont ajoutées sur la structure SHIR. Les couches sont placées de chaque côté du nid d'abeille, l'une sur le substrat, l'autre pour coller le plan de masse. Du fait que les caractéristiques des couches de colle (permittivité et épaisseur) sont inconnues, une étude paramétrique est nécessaire. Les résultats sont illustrés sur les figures 7 et 8.

Les résultats de simulation de la structure avec la colle pour différentes valeurs de permittivité et une épaisseur fixe (0.2mm) sont présentés sur la figure 7. La bande de fonctionnement se décale d'environ 140MHz lorsque la permittivité de la colle passe de 1.08 à 4.08. La bande à -15dB n'est par conséquent plus maintenue entre 2 et 2.3 GHz.

L'effet de l'épaisseur de la colle est montré sur la figure 8. Lorsque l'épaisseur de la colle augmente, la bande de fonctionnement se décale; par exemple pour une épaisseur de 0.35mm la bande est déplacée de 30MHz.

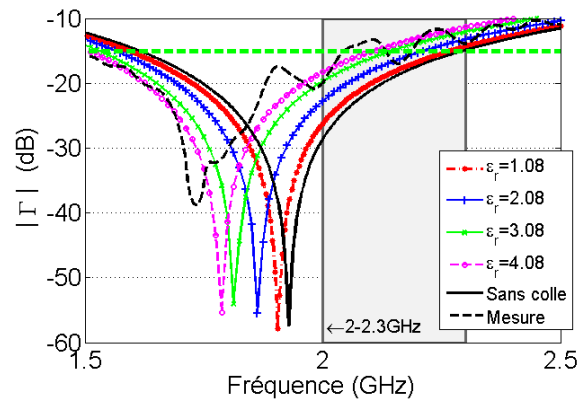


Figure 7. Influence de la permittivité de la colle (épaisseur = 0.2mm)

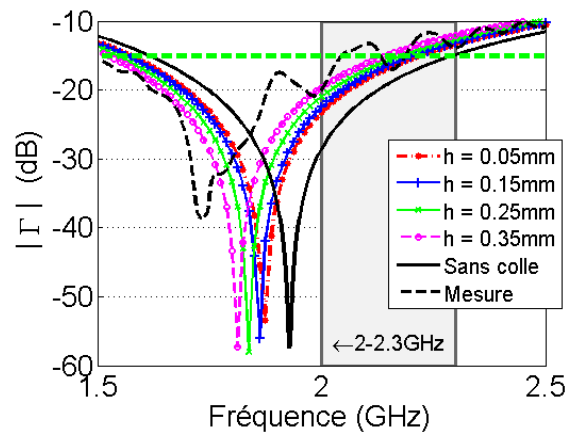


Figure 8. Influence de l'épaisseur de la colle ($\epsilon_r = 2.08$).

3.e. Sensibilité des performances à la valeur de la résistance

Un autre facteur à étudier est la sensibilité de l'absorbant aux valeurs de résistance, attribuées par le fabricant à $\pm 10\%$. La figure 9 présente les résultats obtenus pour des valeurs de résistance à 339.6Ω (377Ω -

10%), 358.5Ω (377Ω -5%), 396.2Ω (377Ω +5%) et 415Ω (377Ω +5%).

Lorsque la résistance s'éloigne de la valeur optimale les performances sont dégradées. Néanmoins, le module du coefficient de réflexion reste inférieur à -15dB dans la bande de 2 à 2.3GHz. Ce résultat contribue à expliquer le décalage en niveau observé dans les mesures.

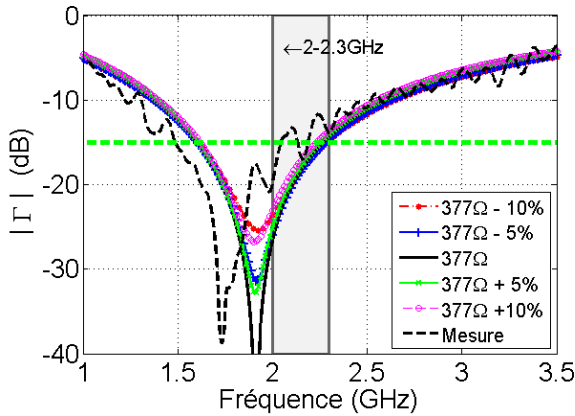


Figure 9. Influence de la tolérance +/-10% de la résistance

3.f. Performances en incidence oblique

Cette analyse doit être complétée avec le fonctionnement du matériau absorbant en incidence oblique. Les figures 10 et 11 montrent les résultats de simulation du matériau pour différents angles d'incidence. Le module du coefficient de réflexion change en fonction de l'angle d'incidence et se dégrade quand on augmente l'angle d'incidence. La bande de fréquence se décale vers le haut dans ces mêmes conditions.

Le matériau absorbant présente des performances limitées en incidence oblique. Ainsi, le matériau répond aux spécifications en termes de bande pour un angle d'incidence maximale de 40° pour des ondes polarisées TE (champ électrique tangent à la surface de l'absorbant) et 35° pour des ondes polarisées TM (champ magnétique tangent à la surface de l'absorbant).

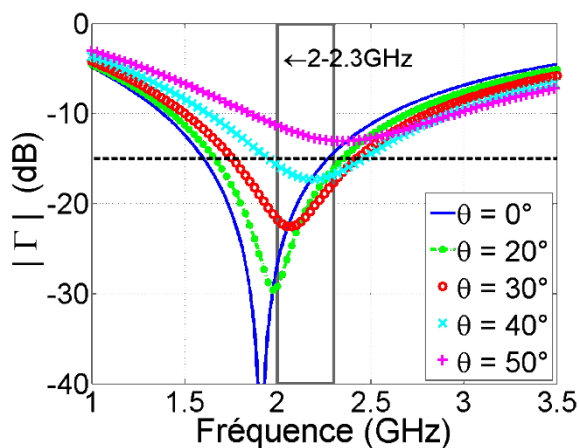


Figure 10. Module des coefficients de réflexion à incidence oblique en polarisation TE.

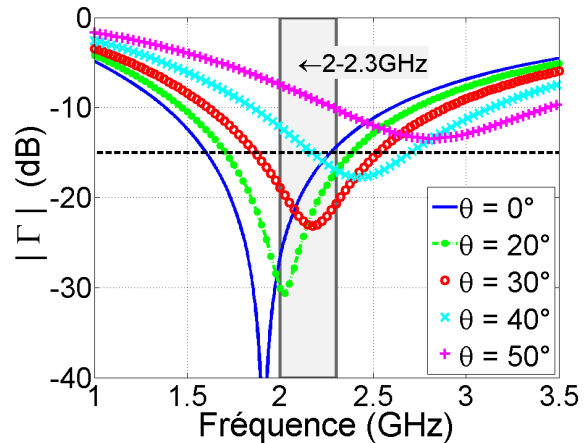


Figure 11. Module des coefficients de réflexion à incidence oblique en polarisation TM.

4. Conclusion

Ce travail a contribué à démontrer qu'un absorbant répondant aux spécifications décrites (réflexion inférieure à -15 dB pour une bande passante supérieure à 14%) est réalisable avec une surface haute impédance résistive pour une incidence normale, et ce, en respectant les contraintes d'encombrement et de masse dictées par des contraintes spécifiques au domaine spatial.

Il a été démontré que les décalages en fréquence et en niveau d'absorption observés entre les résultats de mesure et de simulation peuvent s'expliquer par les imperfections de réalisation. De plus, le niveau est dégradé par une valeur de résistance différente de l'optimale et la bande de fonctionnement se déplace en fonction de la présence des couches additionnelles de colle.

Le fonctionnement du matériau absorbant est limité en incidence oblique (réflexion inférieure à -15 dB sur la bande 2-2.3 GHz pour un angle d'incidence maximale de 40° en polarisation TE et 35° en polarisation TM). La suite de ce travail concerne l'optimisation d'une solution pour pallier le problème de la dispersion angulaire.

5. Bibliographie

- [1] W. W. Salisbury, «Absorbent body for electromagnetic waves», U.S. Patent 2599944, June 1952.
- [2] L. J. Du Toit, «The Design of Jauman Absorbers», IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 36, no. 6, pp. 17-25, Dec. 1994.
- [3] N. Engheta, «Thin absorbing screens using metamaterial surfaces», IEEE Antennas and Propagation Symposium, vol. 2, pp. 392-395, 2002
- [4] F. Costa, A. Monorchio, and G. Manara «Analysis and Design of Ultra Thin Electromagnetic Absorbers Comprising Resistively Loaded High Impedance Surfaces», IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 58, no.5, pp.1551-1558, May 2010