



HAL
open science

Antenne planaire large bande et directive avec un réflecteur hybride

Chetan Joshi, Julien Sarrazin, Anne Claire Lepage, Xavier Begaud

► To cite this version:

Chetan Joshi, Julien Sarrazin, Anne Claire Lepage, Xavier Begaud. Antenne planaire large bande et directive avec un réflecteur hybride. XIXèmes Journées Nationales Microondes 2015, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01162862

HAL Id: hal-01162862

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01162862>

Submitted on 12 Jun 2015

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.

Antenne planaire large bande et directive avec un réflecteur hybride

Chetan Joshi¹, Julien Sarrazin², Anne Claire Lepage¹, Xavier Begaud¹

¹ Institut Mines Telecom, Telecom ParisTech - LTCI CNRS UMR 5141, Paris, France

² Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UR2, L2E, F-75005, Paris, France
chetan.joshi@telecom-paristech.fr

Résumé

Cet article présente une antenne large bande, de faible épaisseur et directive grâce à un réflecteur hybride issu de la modification d'un conducteur magnétique artificiel. La bande passante de l'antenne finale est 63.4% [4.2-8.1 GHz]. Ce réflecteur permet de conserver un gain dans l'axe supérieur à 4.2 dB sur une bande de 46% [4.2-6.7 GHz] dans la bande passante. Les dimensions de la structure finale sont $1.47\lambda_0 \times 1.25\lambda_0 \times 0.12\lambda_0$ à 5 GHz.

1. Introduction

Les antennes larges bandes sont très utiles pour couvrir plusieurs standards de communication ou pour des applications de localisation par exemple. Le dipôle diamant étudié dans cette communication est une antenne large bande. Cette antenne peut être associée à un réflecteur métallique afin de favoriser le rayonnement dans la direction normale au réflecteur, appelée aussi axe principal de l'antenne, pour obtenir ainsi une antenne directive. Le réflecteur est alors un conducteur électrique parfait (CEP) placé à une distance égale à $\lambda/4$ (à la fréquence centrale de fonctionnement) du plan de l'antenne pour générer une interférence constructive dans l'axe principal, ce qui augmente significativement l'épaisseur totale de l'antenne.

Une solution moins encombrante peut être proposée en utilisant un conducteur magnétique artificiel (CMA) inspiré des surfaces de Sievenpiper [1]. L'étude menée en [2] s'intéresse au comportement des antennes dipôles à proximité d'un CMA. Elle montre qu'une chute de gain importante dans l'axe apparaît dans la bande de fonctionnement de l'antenne en présence du CMA. Afin d'obtenir un diagramme de rayonnement directif sur toute la bande, il est proposé de modifier la périodicité des motifs du CMA. Le même problème est rapporté en [3] qui présente une antenne diamant placée au dessus d'un CMA. Dans cet article, nous proposons une solution basée sur un réflecteur hybride associé à une antenne dipôle diamant afin d'obtenir une antenne de très faible épaisseur, large bande et directive.

2. Antenne avec CMA classique

La structure initiale est composée d'une antenne dipôle diamant au-dessus d'un réflecteur CMA. Le

substrat de l'antenne est du CuClad ($h = 1.58$ mm, $\epsilon_r = 2.5$, $\tan \delta = 0.0018$). Les dimensions du substrat sur lequel est gravée l'antenne sont définies en fonction de celles du CMA. L'antenne dipôle diamant illustrée en Figure 1 consiste en deux patchs alimentés par des lignes d'accès. Les patchs carrés ont une longueur, $L = 9$ mm. Les dimensions des lignes d'accès sont $a = 1.5$ mm, $b = 3$ mm. La distance de séparation entre les deux brins du dipôle est $S = 0.3$ mm. Le dipôle est excité par une source discrète dans le logiciel CST Microwave Studio. La bande passante ($|S_{11}| < -10$ dB) est de 1.21 GHz (27.2% autour de 4.45 GHz). Pour une impédance d'entrée plus élevée, e.g. 100 Ω , la bande s'améliore : 3.3 GHz (53.65% autour 6.15 GHz).

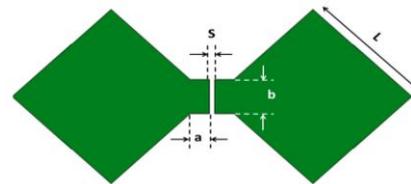


Figure 1. Antenne Dipôle Diamant

L'excitation de l'antenne s'effectue depuis le bord de substrat de l'antenne. Une ligne bifilaire planaire est imprimée sur la face arrière du substrat CuClad. Les largeurs de lignes sont $w_{\text{ligne}} = 2.4$ mm et l'espace entre les deux lignes est $g_{\text{ligne}} = 0.22$ mm. L'impédance caractéristique de la ligne est $Z_c = 100\Omega$. Deux vias métalliques (rayon $r_{\text{via}} = 0.4$ mm) connectent le dipôle et la ligne bifilaire. Cette ligne est ensuite connectée avec une prise coaxiale au bord de l'antenne. Un balun est utilisé pour convertir le mode asymétrique du connecteur coaxial en mode symétrique de la ligne bifilaire planaire en utilisant les vias de transition ($r_{\text{tr}} = 0.2$ mm). Le balun est conçu à partir du dispositif décrit en [4]. Ce balun permet aussi d'adapter le connecteur coaxial 50 Ω avec la ligne bifilaire 100 Ω . La bande passante de l'antenne avec cette structure d'excitation est 1.21 GHz (25.6% autour de 5.1 GHz).



Figure 2. Ligne Bifilaire et Balun

Le CMA est une structure périodique composée de patches carrés en cuivre de côté $w = 7.4$ mm. Les motifs du CMA sont séparés d'une distance $g = 1$ mm. Le substrat utilisé pour le CMA est du FR4 Epoxy ($h = 3.2$ mm, $\epsilon_r = 4.1$, $\tan \delta = 0.02$). Les dimensions sont optimisées pour obtenir un déphasage nul entre les champs électriques incident et réfléchi en incidence normale à $f_0 = 5$ GHz, ce qui correspond à la fréquence centrale de la bande passante de l'antenne seule. Cette absence de déphasage permet de rapprocher l'élément rayonnant du réflecteur et de diminuer considérablement l'épaisseur de l'antenne. En définissant la bande de fonctionnement pour un déphasage compris entre -90° et 90° , le réflecteur fonctionne comme un CMA dans la bande [4.2-5.8 GHz] soit une bande 32% autour 5.0 GHz.

Ensuite, une étude a été menée sur le compromis entre bande passante, gain dans l'axe principal et dimensions du CMA. Dans les Figures 3 et 4, le module du coefficient de réflexion et le gain réalisé sont présentés pour l'antenne associée à des réflecteurs de tailles différentes : 6x6 patches, 8x8, 10x10 et 12x12. Le dipôle dans cette étude est excité par une source discrète.

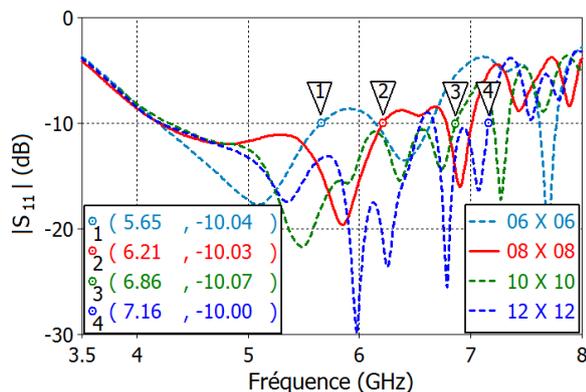


Figure 3. Comparaison de l'adaptation de l'antenne pour différentes tailles de CMA

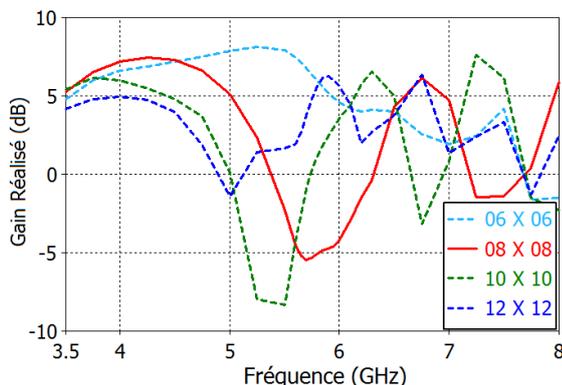


Figure 4. Comparaison des gains réalisés dans l'axe, de l'antenne pour différentes tailles de CMA

On observe que la bande passante augmente quand le nombre des cellules élémentaires augmente. La fréquence basse de la bande passante reste la même, mais la fréquence haute de la bande augmente. Ceci est attribué aux résonances générées dans le réflecteur. Le

gain est maximum quand le réflecteur est petit. En prenant le meilleur compromis entre la bande passante, le gain et la taille, la configuration de 8x8 cellules est choisie (en rouge dans les Figures 3 et 4).

Le substrat mesure ainsi 75 mm x 75 mm, les dimensions du substrat de l'antenne sont 88 mm x 75 mm, pour placer le balun en dehors du CMA. L'antenne est placée au-dessus du CMA à une distance $h_{air} = 2$ mm. Cette valeur permet de maintenir l'adaptation initiale de l'antenne. L'épaisseur totale de l'antenne est donc de 6.78 mm. L'antenne possède ainsi les dimensions suivantes : $1.47\lambda_0 \times 1.25\lambda_0 \times 0.11\lambda_0$ à 5 GHz

La bande passante ($|S_{11}| < -10$ dB) de l'antenne avec un réflecteur classique est de 2.1 GHz (40% autour de 5.2 GHz) et une chute de gain est observée dans la bande [5.3-6.4 GHz] comme le montre la Figure 4 (courbe rouge) avec un minimum de -6.3 dB à 5.8 GHz.

Ce creux dans le diagramme de rayonnement, caractérisé par un gain réalisé inférieur à 0 dB, apparaît dans l'axe à cause des courants « destructifs » qui se trouvent sur le CMA et qui induisent un rayonnement en opposition de phase avec celui du dipôle diamant. Nous utilisons alors la technique décrite en [5] pour identifier ces courants destructifs. La contribution majoritaire de courant est suivant x (polarisation de l'antenne). Comme la composante de courant étudiée est J_x , nous utilisons H_y puisque :

$$J_x = -H_y \cdot x \quad (1)$$

L'intervalle de phase constructive est défini par $(\phi_{\min}(J_x) - 90^\circ < \phi_{\text{constr}} < \phi_{\min}(J_x) + 90^\circ)$, où $\phi_{\min}(J_x)$ et $\phi_{\max}(J_x)$ sont les phases maximales et minimales des courants forts sur le réflecteur. Par conséquent, les courants circulant hors de cette plage sont dits destructifs. La Figure 5 montre les courants destructifs à 5.8 GHz. Ces courants sont concentrés sur les deux rangées extrêmes du CMA. Les courants destructifs circulent sur la surface avec une phase destructive ϕ_{destr} comprise entre -30° et 70° . Ils se concentrent dans les deux rangées extrêmes et la densité de courant maximale est de 3.68 A.m^{-1} .

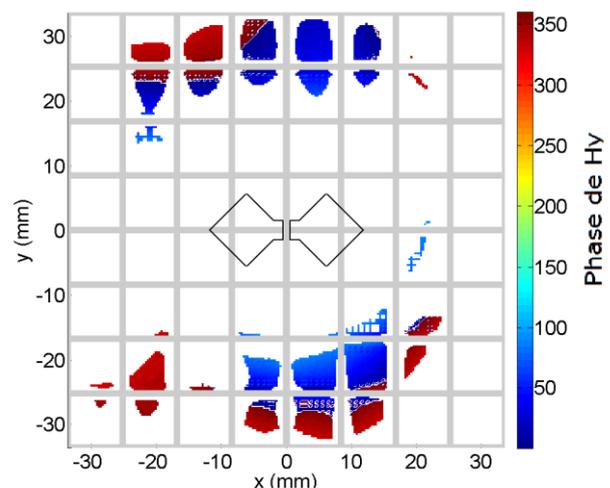


Figure 5. Phases destructives sur le réflecteur classique

3. Antenne avec réflecteur hybride

Afin de maintenir une directivité maximale dans l'axe et sur toute la bande passante, la distribution de courant doit être corrigée. Les deux rangées de patches identifiées dans le paragraphe précédent sont par conséquent court-circuitées. Ainsi, on a deux rangées de type CEP et les autres de type CMA. Ainsi, le réflecteur, qui est composé de deux rangées de type CEP et d'autres de type CMA, est dit hybride. Les courants destructifs sur ce réflecteur circulent avec une phase ϕ_{destr} comprise entre 307° et 347° . La densité de courant maximale est de 2.68 A.m^{-1} , mais elle est concentrée au sein d'une petite surface, et sa contribution au rayonnement est par conséquent limitée. La phase des courants destructifs est représentée sur la Figure 6.

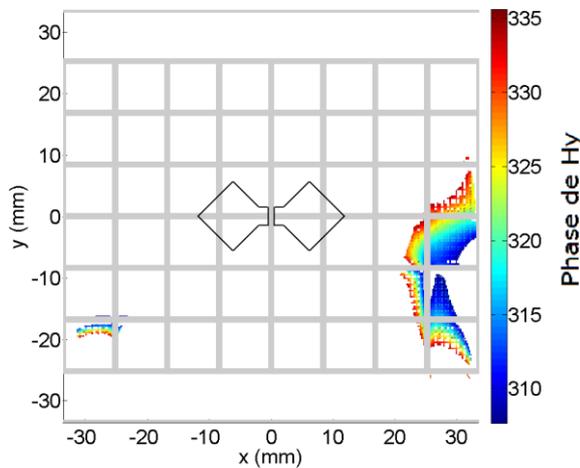


Figure 6. Phases destructives sur le réflecteur hybride

Dans la simulation, la bande passante ($|S_{11}| < -10 \text{ dB}$) d'une telle antenne est de 2.7 GHz (49% autour 5.45 GHz). Le gain maximal réalisé dans la bande est de 8.3 dB. Pour valider ces résultats, un prototype de l'antenne a été fabriqué. La Figure 7 montre les courbes de d'adaptation simulée et mesurée. L'antenne a une bande passante ($|S_{11}| < -10 \text{ dB}$) de 3.9 GHz (63% autour 6.15 GHz).

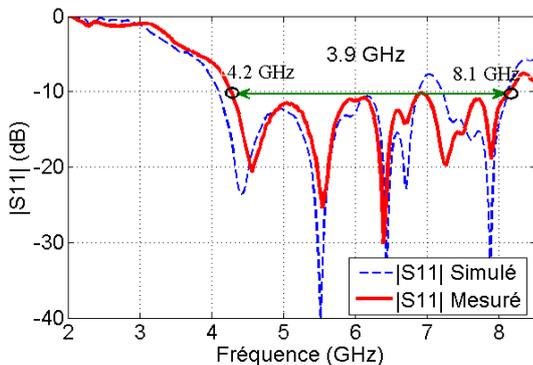


Figure 7. Comparaison simulation-mesure de l'antenne avec réflecteur hybride

Dans la Figure 8, on présente une comparaison du gain réalisé, G_R de l'antenne dans l'axe principal. Un minimum dans l'axe est observé à 5.8 GHz grâce au réflecteur hybride. La chute de gain est bien corrigée autour de 5.8 GHz avec le CMA classique. On observe un excellent accord simulation-mesure. Le gain maximal mesuré, G_{R-Max} est 7.9 dB à 4.5 GHz.

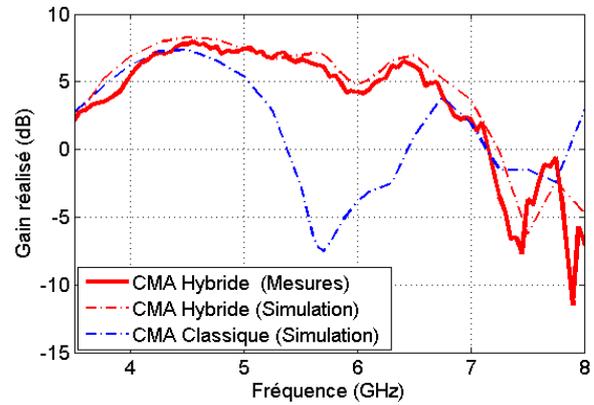


Figure 8. Gain réalisé dans l'axe principal

Les Figures 9 à 14 montrent les diagrammes de rayonnement (gain réalisé) dans les plans E et H à 4, 5 et 6 GHz.

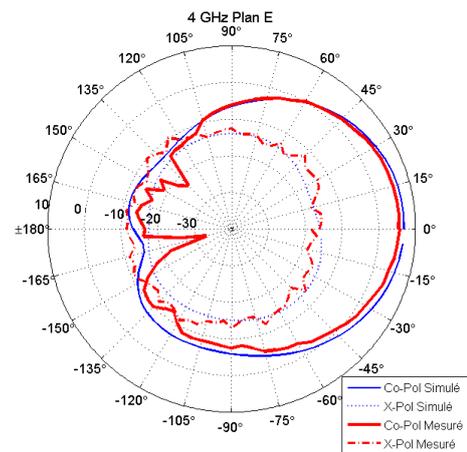


Figure 9. Gain réalisé à 4 GHz, Plan E

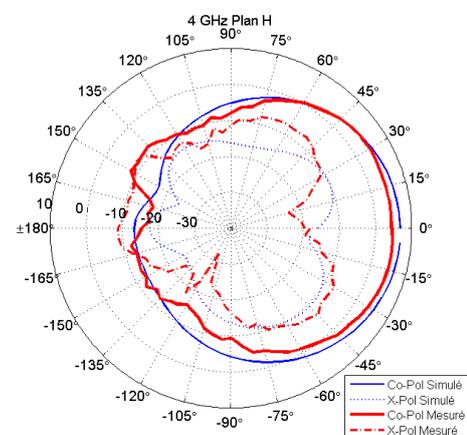


Figure 10. Gain réalisé à 4 GHz, Plan H

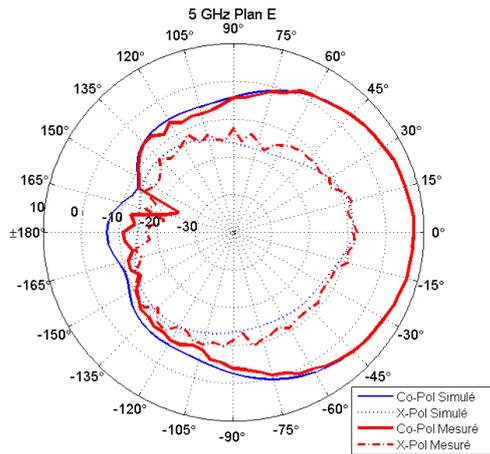


Figure 11. Gain réalisé à 5 GHz, Plan E

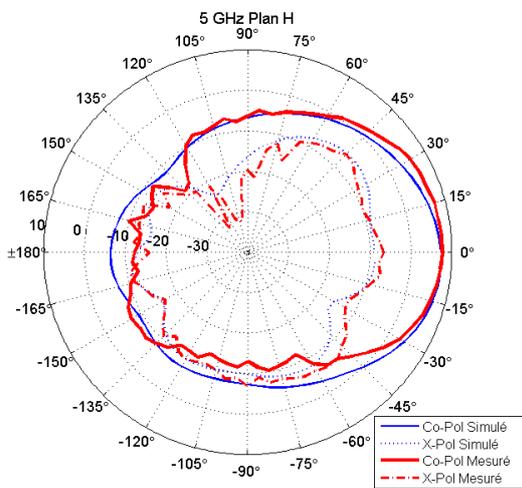


Figure 12. Gain réalisé à 5 GHz, Plan H

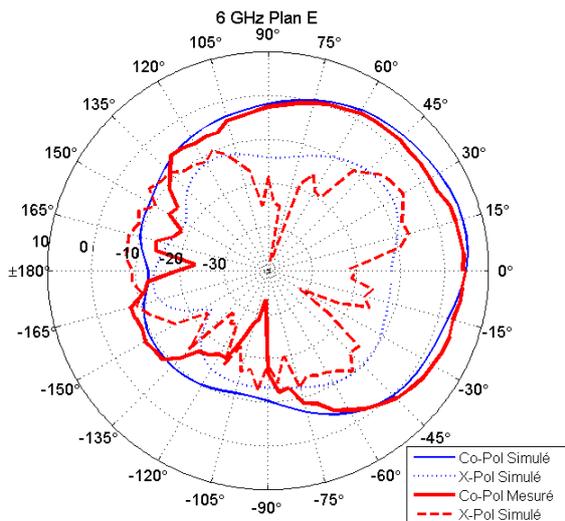


Figure 13. Gain réalisé à 6 GHz, Plan E

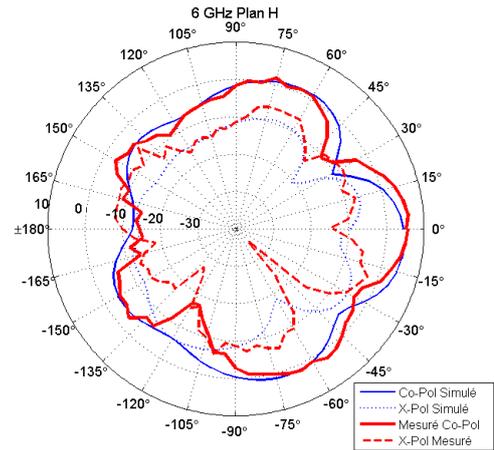


Figure 14. Gain réalisé à 6 GHz, Plan H

On observe que les résultats de simulation et de mesure sont en bon accord. Il est aussi observé que le niveau de polarisation croisée augmente avec la fréquence. La bande passante de l'antenne ($|S_{11}| < -10$ dB et $G_R > G_{R-Max} - 3$ dB) est 2.5 GHz (46% autour 5.45 GHz).

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une antenne dipôle diamant placée au-dessus d'un réflecteur hybride. Après avoir observé une chute de gain dans l'axe de l'antenne, liée aux dimensions du CMA classique, nous avons identifié le problème à l'aide d'une méthode basée sur l'analyse des courants. Ensuite, un réflecteur hybride a été proposé pour rétablir le gain sur l'ensemble de la bande. Un prototype de l'antenne a été réalisé dont les résultats de mesures ont permis de valider la conception.

5. Bibliographie

- [1] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. Alexopolous, E. Yablonovitch, «*High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band*» Microwave Theory and Techniques, IEEE Trans. on, Vol. 47, n° 11, 1999, pp. 2059-2074.
- [2] R. M. Mateos, C. Craeye, G. Toso, «*High-gain wideband low-profile antenna*», Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 48, n° 12, 2006, pp. 2615-2619.
- [3] L. Akhoondzadeh-Asl, D. Kern, P. Hall, D. Werner, «*Wideband Dipoles on Electromagnetic Bandgap Ground Planes*», Antennas and Propagation, IEEE Trans. on, Vol. 55, n° 9, Sept 2007, pp. 2426-2434.
- [4] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, Y. K. Cho, «*Design of bow-tie-type UWB antennas using an ultra-wideband balun*», Antennas and Propagation Society International Symposium, Hawaii, 9-15 June 2007
- [5] A. C. Lepage, J. Sarrazin, X. Begaud, «*Wideband Directive Antennas with High Impedance Surface*», Microwave and Millimeter Wave Circuits and Systems, John Wiley & Sons, 2013, pp. 69-73.