



**HAL**  
open science

## Surface Haute Impédance à motifs miniatures

Mélusine Pigeon, Christophe Morlaas, Hervé Aubert, Bernard Souny

► **To cite this version:**

Mélusine Pigeon, Christophe Morlaas, Hervé Aubert, Bernard Souny. Surface Haute Impédance à motifs miniatures. JNM 2011, 17èmes Journées Nationales Micro-ondes, May 2011, Brest, France. 4p. hal-01022220

**HAL Id: hal-01022220**

**<https://enac.hal.science/hal-01022220v1>**

Submitted on 23 Sep 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.

## Surface Haute Impédance à motifs miniatures

Mélusine Pigeon<sup>1&2</sup>, Christophe Morlaas<sup>2</sup>, Hervé Aubert<sup>3</sup>, Bernard Souny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ;  
F-31077 Toulouse, France

<sup>2</sup>LETA/ENAC, 7 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse cedex 4

<sup>3</sup>LAAS-CNRS, 7 avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse cedex 4  
[melusine.pigeon@recherche.enac.fr](mailto:melusine.pigeon@recherche.enac.fr) : correspondant principal

### Résumé

Nous proposons dans cette communication une surface haute impédance composée de cellules périodiques dont la taille n'exède pas  $\lambda/100$  et qui permettent de réaliser (en simulation) une bande passante de 13%

### 1. Introduction

Dans certaines applications, il est important de réduire le rayonnement arrière d'une antenne. L'intérêt est double, rendre les caractéristiques de l'antenne insensibles à son environnement et doubler sa directivité.

En présence d'une antenne électrique la solution habituelle est de placer un plan métallique à  $\lambda/4$  de l'antenne. Afin de réduire l'épaisseur de ce système, on peut théoriquement placé un conducteur magnétique parfait (PMC) dans le plan de l'antenne. Cette propriété n'étant hélas pas présente dans la nature, de nombreux auteurs [1-5] proposent la réalisation de conducteur magnétique artificiel (AMC) ou autrement dit de surfaces haute impédance (SHI) au moyen d'une surface sélective en fréquence (SSF) sur un plan métallique. L'inconvénient des SHI est qu'elles sont à bande étroite. Il est donc nécessaire de déterminer quelle taille et quel type de motif de cellule élémentaire constituant le SHI maximisent la bande passante. De plus, la réduction de la taille est théoriquement favorable au regard de la théorie de Block-Floquet puisqu'elle permet une meilleure homogénéisation des caractéristiques électriques du matériau et d'un point de vue pratique réduit la dispersion technologique.

Cet article décrit donc une SHI à motifs miniatures destinée à être placée sous une antenne.

### 2. Choix du motif pour la cellule

La SSF est constituée de motifs métalliques espacés par un gap. Ce motif est reproduit périodiquement sur une surface plane 2D. La SSF est placée au-dessus d'un plan métallique réalisant une SHI.

Le motif de base de la surface périodique ainsi réalisée (motif SSF et plan métallique situé en-dessous) est

appelé *cellule*. Notre objectif est de trouver une forme de cellule qui soit de taille minimale avec une bande-passante maximale. Pour déterminer quelle est la forme de cellule la plus appropriée, on s'appuie sur son schéma électrique équivalent (SEE). Ce SEE va nous permettre de faire une étude comportementale de la cellule, elle ne servira pas à la dimensionner (cette partie sera faite par la suite en simulation sous HFSS)

On montre par simulation que le SEE d'une cellule de Sievenpiper [2] est équivalent à celui de la même cellule sans via pour une incidence normale, Figure 1.

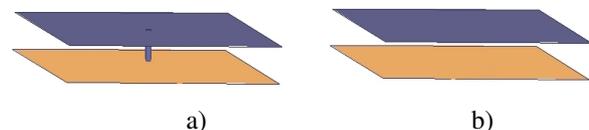


Figure 1. a) Cellule de Sievenpiper b) Même cellule sans le via sur plan métallique (en orange).

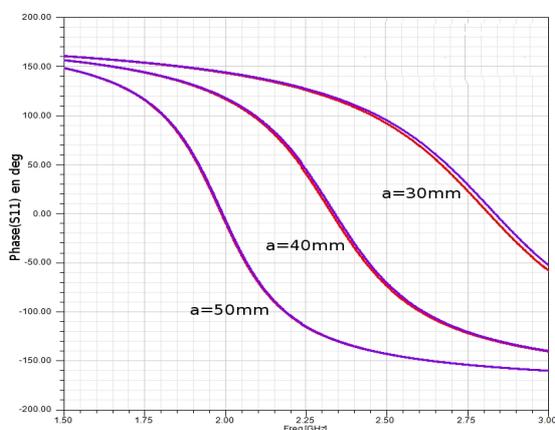
Pour cela on fait l'étude d'une cellule à partir de la théorie de Block-Floquet à l'aide d'HFSS.

Sur les parois latérales de la cellule on applique des conditions aux limites périodiques (CLP), un plan métallique est placé à 4mm sous la couche SSF et celle-ci est éclairée par le dessus par le premier mode de Floquet en incidence normale. Le coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ) associé au premier mode de Floquet est calculé dans le plan de la cellule. La bande passante de la cellule est mesurée sur la phase de ce  $S_{11}$  entre  $\pm 90^\circ$  [2].

On compare la réponse de la phase du coefficient de réflexion pour des cellules avec ou sans via dans les mêmes conditions de simulation.

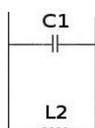
Cette comparaison est faite pour trois dimensions de cellules différentes afin de montrer que la comparaison est valable quelque soit la fréquence. On fait donc varier la dimension du côté de la cellule (a). La Figure 2 montre les résultats de cette comparaison. Les courbes rouges correspondent aux cellules avec via et celles en bleu à celles sans via. Pour  $a=50\text{mm}$  les deux courbes sont parfaitement confondues, pour les deux autres valeurs de

(a) les courbes sont légèrement dissociées. Ceci est due à une erreur numérique du simulateur.



**Figure 2. Comparaison de la phase du coefficient de réflexion pour différente taille de cellule, en bleu les courbes pour les cellules sans via et en rouge pour celles avec via.**

Les deux cellules ont donc le même comportement électrique. On utilisera alors le modèle électrique bien connu inspiré de [2] pour décrire le comportement des cellules sans via (Figure 3)



**Figure 3. SEE pour des cellules avec ou sans via**

Dans ce modèle, on considère une capacité (C1) en parallèle avec une inductance (L2). La capacité C1 modélise le gap entre deux cellules adjacentes. L2 constituée par le plan métallique sous la SSF, varie en fonction de la hauteur entre la cellule et le plan métallique.

Ce SEE est un résonateur LC parallèle, la fréquence de résonance peut alors être calculée à partir de l'équation 1.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_1}} \quad (1)$$

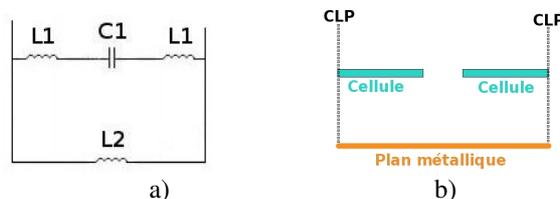
L'augmentation de la hauteur entre la cellule et le plan métallique, augmente L2 et pour C1 fixé, diminue la fréquence. De même on voit que si on augmente C1, L2 étant fixée, on diminue la fréquence. On peut ainsi miniaturiser la cellule. On fixe la hauteur entre la cellule et le plan métallique. En simulation sous HFSS cette dimension est fixée à 4mm cette hauteur permet de réaliser une bande-passante suffisante pour les applications visées (GPS 2%).

Le Tableau 1 montre les résultats de simulation. Comme décrit plus haut, pour une fréquence fixe. L'augmentation de la capacité entre deux cellules adjacentes permet la miniaturisation de la cellule.

Capacité (pF)	Taille du côté du carré (mm)	Bande-passante
0	75	9,8%
0,5	62	9,8%
1,5	15	11,7%
1,8	4	12,7%

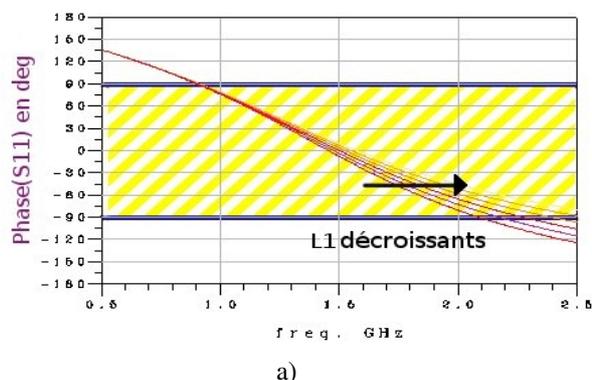
**Tableau 1 Couple Capacité/Taille de côté pour f=1,575GHz. Pour un carré avec des capacités localisées.**

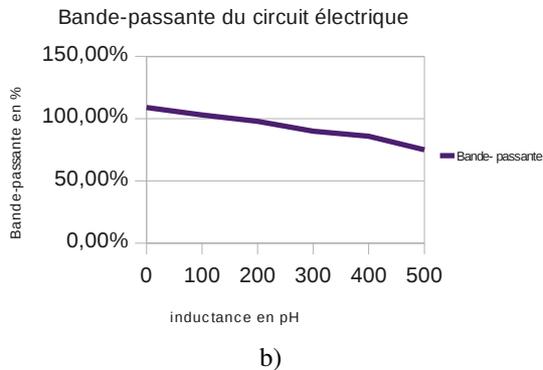
Pour plus de précisions quand la cellule est miniaturisée, on ajoute dans le SEE des inductances en série à la capacité pour modéliser les courants sur les motifs métalliques, voir Figure. 4.



**Figure 4. a)SEE plus détaillé pour une cellule sans via miniature et b) cellule équivalente en simulation sous HFSS vue en coupe**

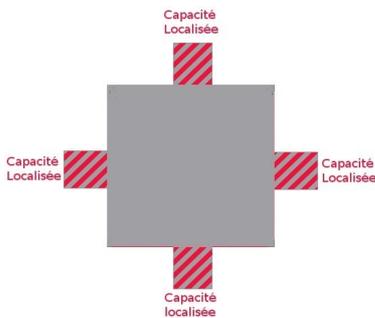
Ce SEE est simulé sous ADS. Comme précédemment sous HFSS, la bande-passante du circuit équivalent est mesurée sur la phase du coefficient de réflexion entre +/-90°. Les résultats (Figure 5 a) et b)) montrent que la bande-passante est maximale quand la valeur de l'inductance L1 est réduite au maximum (pour un couple C1, L2 fixés, ici C1= 1,95pF et L2= 5,8nH).





**Figure 5. Variation de la bande passante en fonction des valeurs de L1. A partir de la phase du coefficient de réflexion pour différentes valeurs de L1 (a)) on extrait b).**

Ainsi un motif minimisant l'inductance série (L1) est préférable. Afin de conserver la possibilité de supporter une polarisation circulaire, seules des cellules symétriques seront choisies. Le motif qui réalisera le meilleur compromis bande-passante/taille est donc une cellule carrée sur laquelle sont placées de fortes capacités à chaque arrêtes, comme sur la Figure 6.



**Figure 6. Nouvelle cellule choisie pour optimiser la bande-passante en fonction de la taille**

### 3. Conception

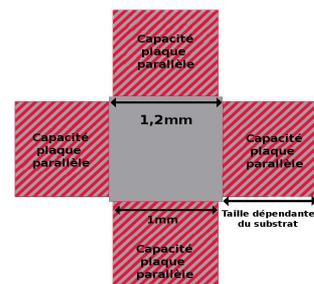
Afin d'atteindre des valeurs de capacité plus importantes que celles obtenues par de simple capacité de proximité, les capacités inter-motifs seront réalisées par des éléments localisés. Pour faciliter la réalisation ultérieure et réduire la dispersion de la SHI, on opte pour des capacités imprimées. De chaque côté d'un diélectrique très fin des plaques de métal seront imprimées, réalisant ainsi une capacité localisée (Figure 7.c). La surface des plaques imprimées, tout autre paramètre étant constant (hauteur h, permittivité du diélectrique), sera directement proportionnelle à la valeur

de la capacité d'après la formule de la capacité linéaire suivante (2).

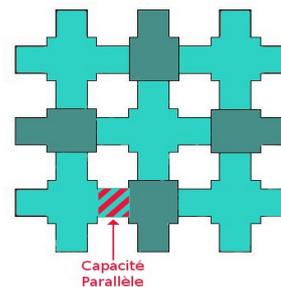
$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot S}{h} \quad (2)$$

S étant la surface de chevauchement, h la hauteur du diélectrique,  $\epsilon_r$  la permittivité du diélectrique sur lequel sont imprimés les plaques et  $\epsilon_0$  la permittivité du vide. La cellule finale est donc un patch avec des capacités imprimées sur chacune de ses arrêtes (Figure 7.b). A une fréquence fixée, la taille minimale de la cellule est limitée par la valeur maximale de la capacité réalisable.

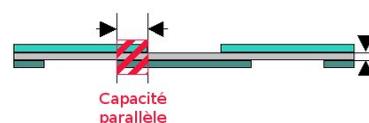
A 1,575GHz (fréquence GPS de notre application) la dimension minimale de la cellule est de 2,5mm, la capacité associée est de 1,95pF correspondant à une plaque de 1,42mm<sup>2</sup> (Kapton  $\epsilon_r=3,9$  et  $h=25\mu\text{m}$ ) Figure.7.a.



a)



b)

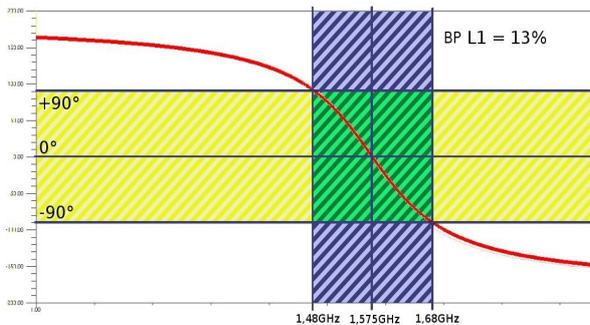


c)

**Figure 7. a) Cellule de 2,5mm fonctionnant à 1,575GHz et Structure SHI 2D. b) vue de dessus c) vue de côté.**

#### 4. Performances

La simulation, comme définit en 2, nous donne pour cette SHI une bande passante de 13% Figure 8.



**Figure 8.** Phase du coefficient de réflexion pour la cellule proposée.

Ces performances comparées à celles des cellules venant de l'état de l'art [2-5] (Tableau 2) donnent de bien meilleurs résultats en termes de rapport bande passante/taille.

Motif cellule					
Ref	Croix de Jerusalem	boucle	[4]	Patch Carré	Notre cellule
Rapport Bande-passante / taille en $\% \cdot \text{mm}^{-1}$	0,07	0,11	0,14	0,14	5,2

**Tableau. 2** Comparaison en rapport bande-passante/taille de la nouvelle cellule par rapport aux cellules de l'état de l'art.

#### 5. Conclusion

La nouvelle cellule élémentaire proposée est très petite ( $\lambda/100$ ). Ces performances en rapport bande-passante/taille sont les meilleures par rapport aux cellules dans l'état de l'art. La SHI ainsi constituée présente une bande passante théorique atteignable de 13%. De plus la miniaturisation du motif apporte trois avantages, l'homogénéité des caractéristiques électriques du métamatériau, la réduction de la dispersion technologique et la possibilité d'envisager par la suite

une évolution bi-bande par imbrication de motifs. Pour finir la technique des capacités imprimées permettra de faciliter grandement sa réalisation future.

#### 6. Bibliographie

- [1]S. Tretyakov, « *Analytical Modeling in Applied Electromagnetics* », Artech House Publishers, 2003.
- [2]D. Sievenpiper, L. Zhang, R.F.J. Broas, N.G. Alexopolus, and E. Yablonovitch, « *High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band* », IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. 47, pp 2059-2074, Nov 1999
- [3]X.L. Bao, G. Ruvio, M. Ammann, M. John, « *A novel GPS patch antenna on a fractal Hi-Impedance surface substrate* », School of Electronic and Communications Engineering Articles Dublin Institute of Technology, 2006
- [4]B. Lin, X. Cao, Y. Yang, H. Zhang, « *Planar EBG on electrically and magnetically anisotropic slab* », Radio Science, Vol 43, 2008
- [5]H. Liu, K.L. Ford, R. Langley, « *Miniaturised periodic structures with antenna applications* », Loughborough Antennas & Propagation Conference, November 2009