

## **Antenne résonateur BIE à faisceau contrôlable**

Olivier Roncière, Ronan Sauleau, Kouroch Mahdjoubi

► **To cite this version:**

Olivier Roncière, Ronan Sauleau, Kouroch Mahdjoubi. Antenne résonateur BIE à faisceau contrôlable. MajecSTIC 2005: Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC, IRISA – IETR – LTSI, Nov 2005, Rennes, pp.215-220. inria-00000712

**HAL Id: inria-00000712**

**<https://hal.inria.fr/inria-00000712>**

Submitted on 15 Nov 2005

**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 résonateur BIE à faisceau contrôlable

O. Roncière, R. Sauleau, K. Mahdjoubi

IETR, UMR CNRS 6164, Groupe Antennes & Hyperfréquences  
Campus de Beaulieu, Université de Rennes 1, Av. Général Leclerc, 35042 – Rennes Cedex  
Olivier.ronciere@univ-rennes1.fr

**Résumé :** Les antennes à Bande Interdite Electromagnétique (BIE) sont des structures à fort gain présentant une meilleure compacité comparées aux réseaux d'antennes ou aux antennes lentilles. Des solutions à base d'empilements diélectriques et métalliques permettent d'obtenir des gains atteignant 30 dB. La directivité de ces antennes est imposée par la taille et le coefficient de qualité de la cavité. A notre connaissance, il n'existe pas de structures BIE à directivité variable. Le travail présenté propose un concept d'antennes BIE à directivité variable. Les performances en rayonnement et en impédance ont d'abord été étudiées dans un modèle 2D. Elles ont ensuite été confirmées dans le cas 3D. La variation de directivité de l'antenne BIE est obtenue grâce à une grille de commande intégrée au milieu de la cavité. Les résultats préliminaires montrent une variation de directivité comprise entre 12.5dB et 26dB avec un nombre réduit d'éléments de commutation.

**Mots Clés :** Antenne planaire, directivité variable

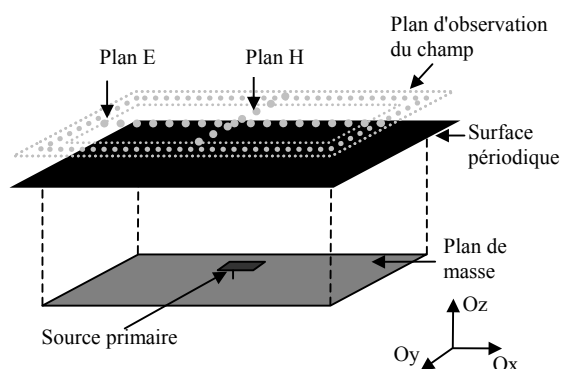
## 1 INTRODUCTION

Les antennes résonateur à Bande Interdite Electromagnétique (BIE) sont des structures à fort gain présentant une meilleure compacité comparées aux réseaux d'antennes ou aux antennes lentilles. Des solutions à base d'empilements diélectriques [Thévenot, 99 - Weily,05] et métalliques [Enoch, 02 - Boutayeb, 03 - Sauleau, 03] permettent d'obtenir des gains atteignant 30 dB. La directivité de ces antennes est imposée par la taille et le coefficient de qualité de la cavité. A notre connaissance, il n'existe pas de structures BIE à directivité variable. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail. Dans la première partie, nous validerons le concept de directivité variable sur un modèle de cavité

2D. Puis, dans la seconde partie, nous détaillerons les performances obtenues en bande  $Ku$  avec une structure réelle 3D excitée par une pastille imprimée alimentée par fente.

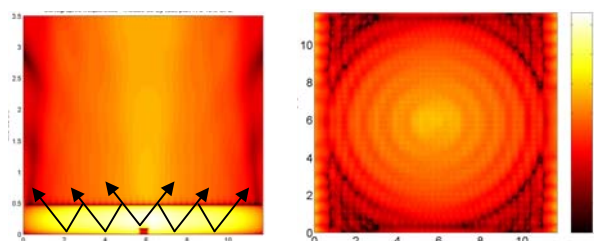
## 2 PRINCIPE ET MODELE 2D

L'objectif de ce travail est d'obtenir une antenne à directivité variable à l'aide d'un résonateur BIE. Classiquement, ces antennes sont composées d'une source primaire placée entre un plan de masse et une structure périodique (figure 1).



**Figure 1:** Schéma d'une antenne résonateur BIE

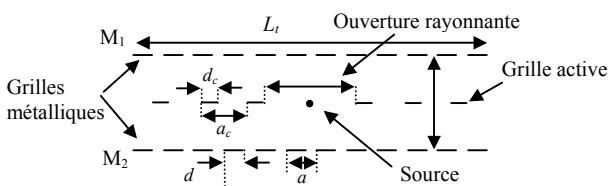
Les cartographies du champ électrique représentées figure 2 illustrent le comportement de ces structures.



**Figure 2:** Cartographies du champ électrique (a) Coupe dans le plan xz (b) Coupe dans le plan xy

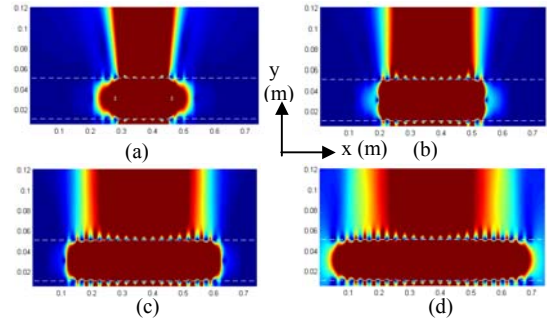
Sur la figure 2(a), on observe le champ de la source primaire qui s'étale grâce aux réflexions multiples à l'intérieur de la cavité. Ainsi, au-dessus de la surface périodique, le champ est réparti sur une grande surface (figure 2(b)) permettant d'obtenir une forte directivité. Nous allons donc utiliser cette propriété pour obtenir une directivité contrôlable en faisant varier la taille de l'ouverture rayonnante dans notre structure.

La géométrie de l'antenne est présentée sur la figure 3. La cavité de Fabry-Pérot (FP) est constituée de deux grilles métalliques passives et inductives  $M_1$  et  $M_2$  de longueur totale  $L_t$ .  $D$  est l'épaisseur de la cavité. La largeur et la période des pistes métalliques sont respectivement notées  $d$  et  $a$ . Une ligne de courant infinie, située au centre de la structure, joue le rôle de source primaire. Par la suite, nous supposons que les deux miroirs sont identiques et sont caractérisés par leur réflectivité  $R$  (en puissance). La surface (et par conséquent la directivité  $D_o$ ) de l'ouverture rayonnante ne dépendent que de la réflectivité des miroirs. Pour contrôler la directivité de l'antenne, une grille active ( $d_c$ ,  $a_c$ ) est placée dans le plan de symétrie de la cavité. Cette grille joue le rôle d'un guide à faces parallèles opérant sous coupure, autorisant la propagation du champ uniquement sur la distance  $L$ . Cette distance  $L$  va alors constituer l'ouverture rayonnante de notre structure. Pour augmenter  $L$  (et donc  $D_o$ ), les pistes actives inductives (continues) sont transformées en pistes capacitives (discontinues) à l'aide de diodes p.i.n (ou de commutateurs MEMS aux fréquences millimétriques). Enfin, il faut noter que la période de la grille interne est très lâche ce qui minimise le nombre de composants actifs.

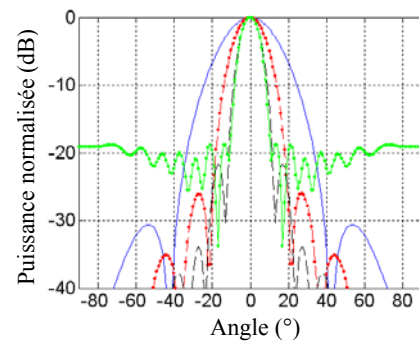


**Figure 3:** Géométrie de l'antenne résonateur 2D à directivité variable. Dimensions:  $a=5.8\text{mm}$ ,  $d=4\text{mm}$ ,  $D=8\text{mm}$ ,  $a_c=14\text{mm}$ ,  $d_c=2\text{mm}$ ,  $L_t=8\times\lambda_o$ . La réflectivité des miroirs vaut  $R=98\%$  à  $18.4\text{GHz}$ .

Le principe est illustré sur la figure 4 sur une cavité de longueur totale  $L_t=8\times\lambda_o$ . L'ouverture rayonnante  $L$  prend 4 valeurs: 2, 4, 6 et  $8\times\lambda_o$ , (i.e. sans grille active). Les diagrammes de rayonnement associés sont donnés sur la figure 5 à la fréquence de résonance de chaque configuration (définie comme la fréquence où la transmission du champ est maximale dans l'axe).



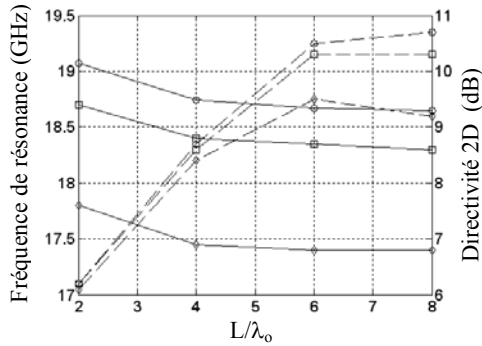
**Figure 4:** Cartographies du champ électrique à la résonance  $f_o$  (a)  $L=2\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.7\text{GHz}$ ; (b)  $L=4\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.45\text{GHz}$ ; (c)  $L=6\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.4\text{GHz}$ ; (d) sans grille active ( $L=8\times\lambda_o$ ),  $f_o=18.4\text{GHz}$ .



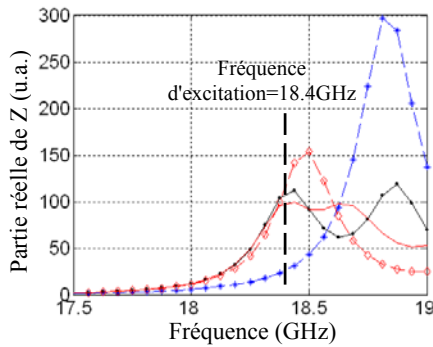
**Figure. 5:** Diagramme de rayonnement théorique à la résonance (—)  $L=2\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.7\text{GHz}$ ; (••)  $L=4\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.45\text{GHz}$ ; (--)  $L=6\times\lambda_o$ ,  $f_o=18.4\text{GHz}$ ; (-•-) sans grille active,  $f_o=18.4\text{GHz}$ .

La directivité 2D varie entre 6.2dB et 10.3dB. Pour les trois premières configurations, le niveau des lobes secondaires est inférieur à  $-30\text{dB}$ . L'augmentation de ce niveau ( $-19\text{dB}$ ) dans la dernière configuration ( $L=8\times\lambda_o$ ) est dues aux fuites de champ observées aux extrémités de la cavité (figure 4(d)). Les variations de  $D_o$  et de  $f_o$  sont résumées sur la figure 6 pour trois réflectivités différentes. Comme prévu,  $D_o$  augmente avec  $L$  et sa valeur maximale est d'autant plus grande que  $R$  est

élevée. Pour de faibles valeurs de  $L$ , on observe une augmentation significative de  $f_o$ . Lorsque  $L > 4 \times \lambda_o$ ,  $f_o$  est presque égale à sa valeur asymptotique (définie pour une cavité infinie).



**Figure 6 :** Variations de la fréquence de résonance et de la directivité dans l'axe en fonction de  $L$  pour trois réflectivités de miroirs (dimensions en mm): ( $\diamond$ )  $R=91\%$  ( $d=2.8$ ,  $a=5.8$ ); ( $\square$ )  $R=98\%$  ( $d=4$ ,  $a=5.8$ ); ( $\circ$ )  $R=98.8\%$  ( $d=4.4$ ,  $a=5.8$ ).



**Figure 7 :** Partie réelle de l'impédance de la source pour quatre valeurs de  $L$ : ( $*$ )  $L=2 \times \lambda_o$ ; ( $\rightarrow$ ),  $L=4 \times \lambda_o$ ; ( $\bullet$ )  $L=6 \times \lambda_o$ , (—) sans grille active

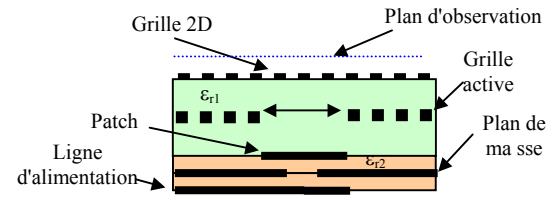
La partie réelle de l'impédance de la source primaire est représentée sur la figure 7 pour quatre valeurs de  $L$ . A la résonance, la partie réelle augmente fortement. Sachant que la fréquence de résonance varie avec  $L$ , à une fréquence donnée, des problèmes de désadaptation sont prévisibles entre les différentes configurations (figure 7) et notamment pour des coefficients de qualité élevés. Dans la partie suivante, nous proposerons une solution pour palier à ce problème.

### 3 APPLICATION EN BANDE KU

Dans cette partie, on considère deux cas en bande  $Ku$ . Dans un premier temps, l'étude portera sur une structure de directivité moyenne (III.1); puis on s'intéressera à une antenne très directive (III.2).

#### 3.1 Antenne à directivité moyenne

La géométrie de l'antenne est représentée figure 8. La cavité de Fabry-Pérot est formée par une grille inductive 2D ( $d=1.6\text{mm}$ ,  $a=5.8\text{mm}$ ,  $R=74\%$ ) et le plan de masse de la source primaire (une pastille alimentée par fente imprimée sur un substrat Téflon ( $\epsilon_{r2}=2.23$ ,  $h=0.4\text{mm}$ )). La grille de commande ( $d_c=1.4\text{mm}$ ,  $a_c=16\text{mm}$ ) est intégrée dans une mousse ( $\epsilon_{r1}=1.07$ ). Elle possède une ouverture centrale carrée  $L \times L$ . Tous les matériaux sont supposés sans pertes. Les simulations sont réalisées par la méthode FDTD [6].



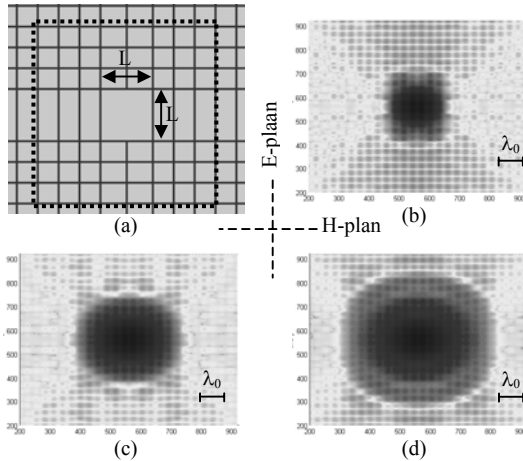
**Figure 8 :** Géométrie de l'antenne résonateur 3D de directivité variable.

	$L=2 \times \lambda_o$	$L=4 \times \lambda_o$	$L=6 \times \lambda_o$	Without grid
Moderate-Q antenna	16.55	16.2	16.1	16.1
High-Q antenna	16.6	16.2	16.05	16.03

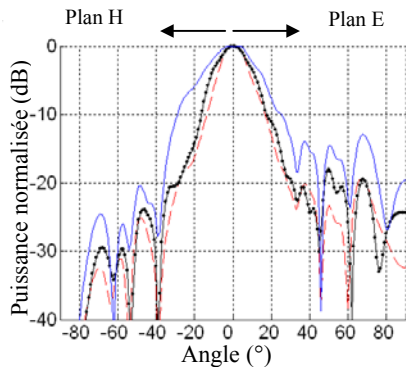
**Figure 9 :** Fréquence de résonance (en GHz) en fonction de  $L$ .

Le tableau 1 donne les fréquences de résonance ( $f_o$ ) des deux configurations dans la bande  $Ku$  (parties III.1 et III.2). Comme prévu, plus le coefficient de qualité de la cavité est fort, plus l'écart entre les différentes fréquences de résonance est important. Les distributions du champ électrique sur un plan d'observation au-dessus de la cavité (figure 8) sont données figure 10 pour trois valeurs de  $L$ . Comme vu dans le cas 2D (figure 4), on observe clairement une augmentation de la zone rayonnante avec  $L$ . Les diagrammes de rayonnement théoriques de ces trois

configurations sont représentées sur la figure 11 à  $f=16.1\text{GHz}$ . Dans le plan H, l'ouverture à mi-puissance varie entre  $14^\circ$  et  $27^\circ$  pour  $2\times\lambda_0 < L < 5.5\times\lambda_0$ . On observe aussi une augmentation significative du niveau des lobes secondaires quand  $L$  décroît, surtout dans le plan E. Ce phénomène est probablement dû au fait que la cavité n'est pas excitée à sa fréquence de résonance (Cf. partie II, pour  $L < 4\times\lambda_0, f > 16.1\text{GHz}$ ).

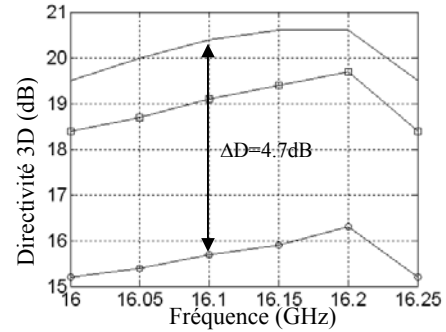


**Figure 10** : Module du champ électrique au-dessus de la structure. Les champs sont calculés dans la zone encadrée par la ligne pointillée (a). (b)  $|E|$  pour  $L=2\times\lambda_0$ ; (c)  $|E|$  pour  $L=4\times\lambda_0$ ; (d)  $|E|$  pour  $L=5.5\times\lambda_0$ .

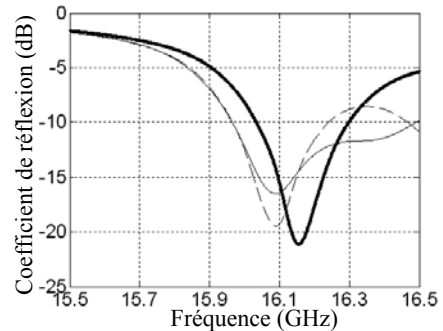


**Figure 11** : Diagrammes de rayonnement théoriques à  $f=16.1\text{GHz}$ . (—)  $L=2\times\lambda_0$ ; (---)  $L=4\times\lambda_0$ ; (- - -)  $L=5.5\times\lambda_0$ .

La figure 12 représente les variations de la directivité dans l'axe en fonction de la fréquence. Elle varie entre  $15.7\text{dB}$  et  $20.4\text{dB}$  pour  $2\times\lambda_0 < L < 5.5\times\lambda_0$ . L'excursion maximale de directivité vaut  $4.7\text{dB}$  à  $16.1\text{GHz}$ . La source primaire a été conçue pour être adaptée pour toutes les configurations de  $L$  (figure 13). La bande passante à  $-10\text{dB}$  vaut  $0.25\text{GHz}$  ( $1.5\%$ ).



**Figure 12** : Directivité(◻)  $L=2\times\lambda_0$ ; (◉)  $L=4\times\lambda_0$ ; (▴)  $L=5.5\times\lambda_0$ .

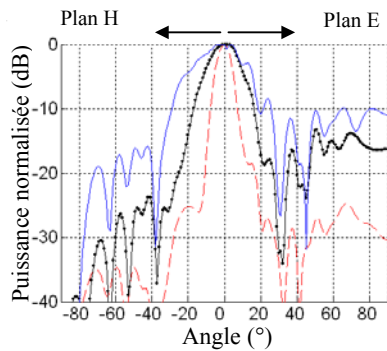


**Figure 13** : Coefficient de réflexion théorique (—)  $L=2\times\lambda_0$ ; (---)  $L=4\times\lambda_0$ ; (- - -)  $L=5.5\times\lambda_0$

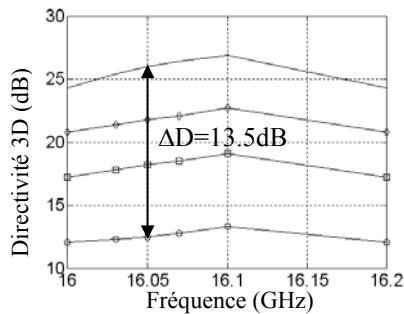
### 3.2 Antenne de forte directivité

Pour augmenter l'excursion en directivité, nous proposons d'augmenter la sélectivité de la cavité précédente. Les nouvelles dimensions de la grille supérieure sont les suivantes:  $d=2.8\text{mm}$  et  $a=5.8\text{mm}$  ( $R=93.1\%$ ). Comme la grille supérieure est plus réfléchive, le déplacement de la fréquence de résonance entre les différentes configurations sera aussi plus important (tableau 1). Ce phénomène aura une influence sur le diagramme de rayonnement. En effet, les cavités de Fabry-Pérot fonctionnant sous la résonance possèdent des ondulations sur les diagrammes de rayonnement. Nous verrons aussi que l'adaptation des structures à  $50\Omega$  est impossible. Les diagrammes de rayonnement calculés à  $f=16.05\text{GHz}$  sont données figure 14 pour  $L=2\times\lambda_0, 4\times\lambda_0$  et  $12\times\lambda_0$ . L'ouverture à mi-puissance varie de  $9^\circ$  ( $12\times\lambda_0$ ) à  $32^\circ$  ( $2\times\lambda_0$ ) et la variation maximale de directivité atteint  $13.5\text{dB}$  entre  $16\text{GHz}$  et  $16.2\text{GHz}$  (figure 15). Les fortes oscillations apparaissant dans le plan E pour  $L=2\times\lambda_0$  sont dues au fait que les diagrammes sont calculées à une fréquence

inférieure à la fréquence de résonance de cette configuration ( $f_o=16.6\text{GHz}$  pour  $L=2\times\lambda_o$ ).

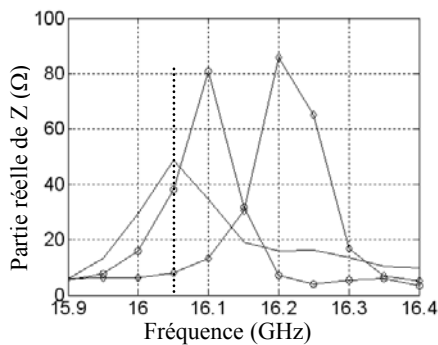


**Figure 14 :** Diagrammes de rayonnement théoriques à  $f=16.05\text{GHz}$  (—)  $L=2\times\lambda_o$ ; (---)  $L=4\times\lambda_o$ ; (—)  $L=12\times\lambda_o$

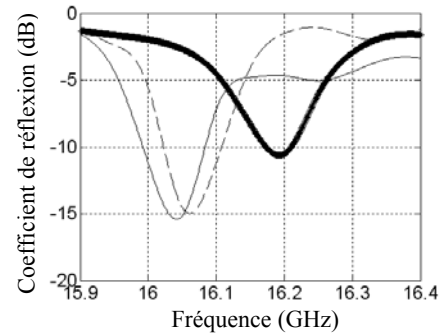


**Figure 15 :** Directivité théorique (□)  $L=2\times\lambda_o$ ; (□)  $L=4\times\lambda_o$ ; (□)  $L=6\times\lambda_o$ ; (□)  $L=12\times\lambda_o$

La figure 16 montre la variation de la partie réelle de l'impédance d'entrée. On constate que la partie réelle de l'impédance de la source pour la configuration  $L=2\times\lambda_o$  est très inférieure à  $50\Omega$  (à cause du déplacement de la fréquence de résonance), son adaptation est donc impossible. Les coefficients de réflexion correspondants sont représentés sur la figure 17.

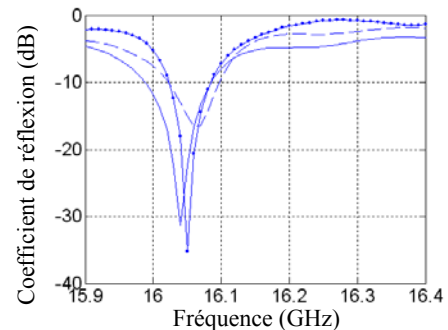


**Figure 16 :** Partie réelle de l'impédance d'entrée (□)  $L=2\times\lambda_o$ ; (□)  $L=4\times\lambda_o$ ; (□)  $L=12\times\lambda_o$ .



**Figure 17 :** Coefficients de réflexion théoriques (—)  $L=2\times\lambda_o$ ; (---)  $L=4\times\lambda_o$ ; (—)  $L=12\times\lambda_o$ .

Cependant, à l'aide d'un stub commutable, situé sur la ligne d'alimentation, l'adaptation des trois configurations est possible. La figure 18 donne le coefficient de réflexion de ces 3 configurations à  $f=16.05\text{GHz}$ . La structure est alors adaptée à  $-10\text{dB}$  pour les trois configurations, mais sur une bande assez limitée (0.4%). La bande passante en terme de rayonnement est elle située entre 16 et 16.2GHz. C'est donc l'adaptation de la source qui limite la bande passante de la structure actuelle.



**Figure 18 :** Coefficients de réflexion avec stub commutable (□)  $L=2\times\lambda_o$ ; (□)  $L=4\times\lambda_o$ ; (□)  $L=12\times\lambda_o$ .

#### 4 CONCLUSION

Une antenne résonateur BIE avec une directivité variable a été proposée en bande  $Ku$ . Par rapport à une antenne directive conventionnelle de type Fabry-Pérot, une grille interne a été rajoutée à l'intérieur de la cavité. Cette grille autorise le contrôle de l'ouverture rayonnante, et donc la directivité de l'antenne dans l'axe. Ce concept a d'abord été validé en 2D en utilisant une méthode FDTD. Puis, nous avons considéré le cas d'une antenne résonateur alimentée par une pastille imprimée couplée

par fente. Deux configurations ont été simulées, l'une avec un coefficient de qualité modéré, l'autre élevé. Dans les deux cas, l'impédance d'entrée et le rayonnement de ces structures ont été étudiées. En particulier, nous avons montré que pour la configuration à fort coefficient de qualité, la directivité pouvait passer de 12.5dB à 26dB au prix d'une désadaptation de l'antenne. Une solution a néanmoins été proposée pour maintenir l'antenne adaptée quel que soit la directivité. Le fait d'utiliser une cavité moins sélective réduit les pertes par désadaptation mais aussi l'excursion de directivité.

## **BIBLIOGRAPHIE**

[Thèvenot, 99] M. Thèvenot, C. Cheype, A. Reinex, B. Jecko, "Directive photonic band-gap antennas", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 47, no. 11, Novembre 1999.

[Weily,05] A.R. Weily, L. Horvath, K.P. Esselle, B.C. Sanders, T.S. Bird, "A planar resonator antenna based on a woodpile EBG material", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 53, n°1, pp. 216-223, Janvier 2005.

[Enoch, 02] S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, N. Guérin, P. Vincent, "A metamaterial for directive emission", Physical Review Letters, vol. 89, n° 21, p. 213902-1 - 213902-4, Novembre 2002.

[Boutayeb, 03] H. Boutayeb, "Etude des structures périodiques planaires et conformes associées aux antennes. Application aux communications mobiles", Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, Décembre 2003.

[Sauleau, 03] R. Sauleau, Ph. Coquet, T. Matsui, J.-P. Daniel, "A new concept of focusing antennas using plane-parallel Fabry-Perot cavities with non-uniform mirrors", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 51, n°11, pp. 3171-3175, Novembre 2003.