



**HAL**  
open science

## Directivité d'une structure antenne-matériau à BIP/cavité Fabry Pérot

Halim Boutayeb, Kouroch Mahdjoubi, Anne-Claude Tarot

► **To cite this version:**

Halim Boutayeb, Kouroch Mahdjoubi, Anne-Claude Tarot. Directivité d'une structure antenne-matériau à BIP/cavité Fabry Pérot. 2003, 4 p. hal-00133826

**HAL Id: hal-00133826**

**<https://hal.science/hal-00133826>**

Submitted on 27 Feb 2007

**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.

# DIRECTIVITE D'UNE STRUCTURE ANTENNE-MATERIAU A BIP/CAVITE FABRY-PEROT

H. BOUTAYEB, K. MAHDJOUBI et A.C. TAROT

IETR - Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, Université de Rennes 1, Bât. 11 D, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes - France. [Halim.boutayeb@univ-rennes1.fr](mailto:Halim.boutayeb@univ-rennes1.fr) Tel : +33 (0) 2 23 23 62 35

## I. Introduction

Les antennes planaires à fort gain et à bas coût trouvent de nombreuses applications telles que dans les réseaux locaux sans fil WLAN ou la réception par satellite. Pour réaliser ces types d'antennes, on peut utiliser des réseaux d'antennes imprimées, mais le mécanisme d'alimentation du réseau conduit à une perte d'efficacité non négligeable. Une solution, pour remédier à cet inconvénient, consiste à placer une source dans une structure périodique. Les caractéristiques de ces antennes qui bénéficient d'un regain d'intérêt important, sont cependant assez mal connues des concepteurs et des ingénieurs d'antenne. Dans les années 50 [1], Trentini propose le procédé et l'analyse suivants : une Plaque Semi Réfléchissante (PSR) est placée devant une antenne à ouverture (guide d'onde) pour augmenter son gain. Dans la réf. [2] les auteurs étudient le cas de plusieurs couches de PSR, dans [3], ils recherchent les PSR donnant une meilleure bande passante et dans [4], il est fait une étude exhaustive en impédance et rayonnement dans le millimétrique pour des sources imprimées ou guidées. Plus récemment [5-7], les matériaux à BIP ont remplacé les PSR pour obtenir des antennes directives. Les matériaux à BIP désignent ici les structures périodiques d'une manière générale.

Dans une première partie, nous appliquerons la méthode classique [1] pour évaluer la directivité d'une antenne placée dans une cavité Fabry-Pérot. Dans une seconde partie, il s'agit de proposer une nouvelle méthode pour mieux calculer le diagramme de rayonnement de telles structures. Nous traiterons l'exemple de rangée de tiges métalliques (*Figures 5a*). Pour finir, nous étudierons l'effet de la dépendance angulaire des surfaces de la cavité.

## II. Utilisation de la méthode classique pour évaluer la directivité d'une antenne-cavité Fabry-Pérot

C'est la méthode utilisée par Trentini pour traiter le cas d'une cavité Fabry-Pérot constituée d'un plan réflecteur et d'une surface semi-réfléchissante. Ici, les deux surfaces sont semi-réfléchissantes. On montre également dans ce paragraphe comment quantifier l'ouverture angulaire ce qui n'est pas fait explicitement par Trentini.

L'onde cylindrique est décomposée en ondes planes (*Figure 1*). Le calcul des différentes ondes planes sortantes, en champs lointain en un point se trouvant à l'angle  $\theta$ , permet d'évaluer le diagramme de rayonnement de la structure :

$$f_1(\theta) = t(\theta) \sum_{n=0}^{\infty} r(\theta)^n \exp(jk(2n+1)D \tan \theta \sin \theta) \exp(-jk(2n+1)D / \cos \theta) = \frac{t(\theta) \exp(-jkD \cos \theta)}{1 - r(\theta) \exp(-jk2D \cos \theta)} \quad (1a)$$

( $r=|r| \exp(j\varphi_r)$ ,  $t$ ) étant les coefficients complexes de réflexion et de transmission des murs de la cavité. Supposons ( $r$ ,  $t$ ) dépendants peu de l'angle d'incidence (pour notre exemple, *Figure 5a*), ceci est vrai pour  $P_i \ll \lambda$ ). On peut alors écrire :

$$f_1(\theta) \approx \frac{t \exp(-jkD \cos \theta)}{1 - r \exp(-jk2D \cos \theta)} \quad (1b)$$

Le module de  $f_1(\theta)$  est maximum pour :

$$2kD \cos(\theta) = \varphi_r + 2n\pi, n=0,1,2,\dots \text{ et } k=2\pi/\lambda \quad (2)$$

Le maximum pour la normale ( $\theta=0^\circ$ ) conduit, à distance donnée, à la fréquence  $f_n = (\varphi_r / (2\pi) + n)c / (2D)$ , ou à fréquence donnée, à la distance  $D = (\varphi_r / (2\pi) + n)\lambda_0 / 2$ . En général,  $\varphi_r$  est proche de  $\pi$  est donc  $D$  est proche de  $\lambda_0 / 4 + n\lambda_0 / 2$ . La détermination exacte de  $D$  pour une fréquence donnée ou celle de la fréquence pour  $D$  donné se fait graphiquement [8] comme le montre la *Figure 2*. Pour obtenir une large bande passante il faudrait que  $\varphi_r$  suive la droite  $2kD - 2n\pi$ , mais en général  $\varphi_r$  est décroissante en fonction de la fréquence. Dans sa recherche d'augmentation de la bande passante, Feresidis [3] conclue qu'il faut que  $\varphi_r$  varie peu (quasiment une droite horizontale) en fonction de la fréquence.

Dans la *Figure 5b*, nous avons tracé la fonction  $|f_1(\theta)|$  normalisée (courbe en pointillé), à  $f_0$ , pour le problème représenté *Figure 5a*. Elle permet de donner une estimation du diagramme de rayonnement réel (courbe continu). En considérant que ( $r$ ,  $t$ ) varient peu en fonction de la fréquence autour de la résonance, les calculs du facteur de qualité  $Q_n$  et de l'ouverture angulaire à -3dB  $\Delta\theta_{3dB,n}$  donnent les formules (3) :

$$Q_n = \frac{f_n}{\Delta f_{3dB,n}} = (\varphi_r + 2n\pi) \left/ \left( 4n\pi + 2 \arccos \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{(1-|r|)^2}{|r|} \right) \right) \right., \quad \Delta\theta_{3dB,n} = 2 \arccos \left( \frac{\varphi_r}{\varphi_r + 2n\pi} - \frac{1}{\varphi_r + 2n\pi} \arccos \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{(1-|r|)^2}{|r|} \right) \right) \quad (3)$$

n étant défini dans l'équation (2). A coefficient de réflexion constant, l'ouverture angulaire est minimale pour n=0 (Figure 3). C'est donc ce mode qui sera utilisé.

Pour le mode n=0 et  $|r| \approx 1$ , et après approximations, les formules (3) s'écrivent :

$$Q_0 \approx \frac{\varphi_r \sqrt{|r|}}{2(1-|r|)}, \quad \Delta\theta_{3dB,0} \approx 2 \arccos \left( 1 - \frac{(1-|r|)}{\varphi_r \sqrt{|r|}} \right) \quad (4)$$

l'ouverture angulaire est ainsi lié au coefficient de réflexion en module et phase. Elle peut se réécrire en utilisant l'expression de  $Q_0$  :  $\Delta\theta_{3dB,0} \approx 2 \arccos \left( 1 - \frac{1}{2Q_0} \right)$ . Pour  $|r|$  proche de 1,  $Q_0$  est élevé, d'où

$$\Delta\theta_{3dB,0} \approx \frac{2}{\sqrt{Q_0}} \quad (5)$$

ce qui concorde avec le résultat obtenu en utilisant l'analogie avec les cavités électroniques [6] (physique quantique).

Ainsi connaissant le coefficient de réflexion d'une surface simulée par une onde plane en incidence normale et une fréquence  $f_0$  de travail, on peut déterminer la distance D, et estimer l'ouverture angulaire.

L'ouverture angulaire peut être la plus petite qu'on le souhaite mais cela conduit à une antenne de faible bande passante (fort Q), l'augmentation des pertes et à une diminution de la tolérance. Nous verrons dans la partie IV si la dépendance angulaire de (r, t) peut être utilisée pour obtenir une faible ouverture angulaire avec une bande passante plus large.

L'approximation du diagramme de rayonnement par la méthode qui vient d'être décrite peut s'avérer insuffisante pour une structure de dimension finie (Figure 5b), nous proposons dans la deuxième partie une nouvelle méthode pour obtenir un diagramme de rayonnement plus proche du cas réel.

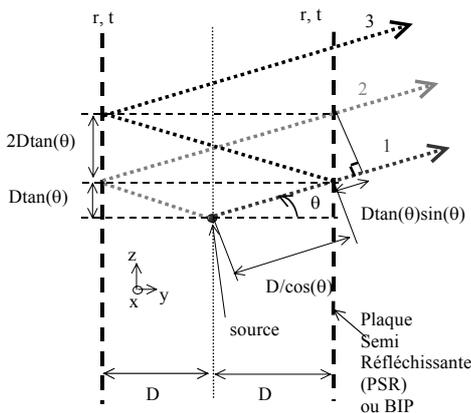


Figure 1 : Méthode classique d'évaluation du diagramme de rayonnement d'une structure antenne-cavité Fabry-Pérot

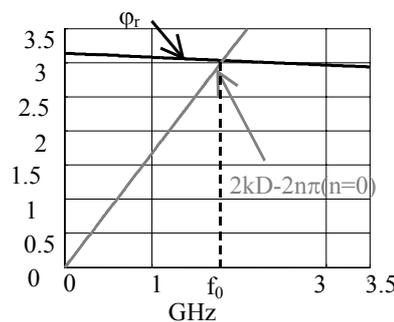


Figure 2 : La droite passant par 0 et  $\varphi_r(f_0)$  permet de déterminer la distance D

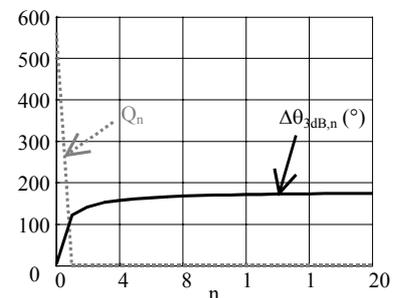


Figure 3 : Variation de l'ouverture angulaire et de Q en fonction du mode n. le coefficient de réflexion (r) est fixe

### III. Meilleure évaluation du diagramme de rayonnement d'une structure antenne-cavité Fabry-Pérot

Nous proposons une deuxième méthode pour évaluer de manière plus précise le diagramme de rayonnement d'une antenne placée dans une cavité Fabry-Pérot (Figure 4). Son apport consiste à calculer la distribution du champ électrique sur une surface extérieure de la cavité (équation (6)). Le champ est obtenu en faisant la somme infinie des chemins optiques de 0 à z. Le premier chemin correspond au rayon direct, le second à une onde réfléchiée une fois dans la cavité, le troisième à onde réfléchiée deux fois etc..

On déduit le diagramme de rayonnement par intégration du champ sur la surface (7). La dépendance angulaire de (r, t) est ici également négligée. Le diagramme donné par cette méthode est représenté en pointillé dans la Figure 5b. Cette courbe est plus proche du cas réel que la courbe obtenue en partie II.

Bien que cette méthode ne permette pas de quantifier l'ouverture angulaire, elle permet d'obtenir rapidement le diagramme de rayonnement approché de la structure de longueur finie. Elle permet également d'obtenir la distribution du champ sur la surface.

$$E(z) = t \sum_{n=0}^{+\infty} r^n \exp \left( -jk(2n+1) \sqrt{\left(\frac{z}{2n+1}\right)^2 + D^2} \right) \exp \left( jk \frac{z}{2n+1} \sin \left( \arctan \left( \frac{z}{(2n+1)D} \right) \right) \right) \quad (6)$$

$$f_2(\theta) = \int E(z) \exp(-jkz \sin \theta) dz \quad (7)$$

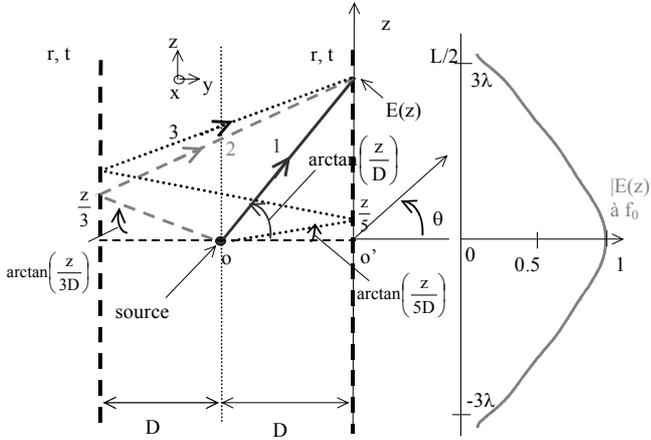
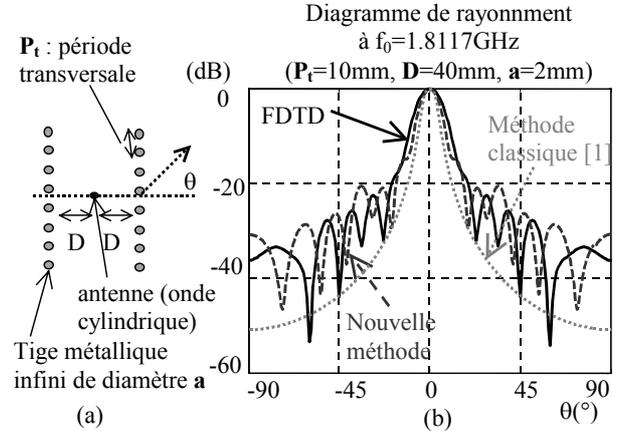


Figure 4 : Nouvelle méthode de calcul du diagramme de rayonnement d'une structure antenne-cavité Fabry-Pérot



Figures 5 : (a) : Structure antenne-cavité Fabry pérot constituée de tiges métalliques (b) : Diagramme de rayonnement de la structure à  $f_0$  ( $P_t=10\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$ ,  $a=2\text{mm}$ ),  $|r|=0.994$   $\varphi_r=174^\circ$

Avec cette méthode, on peut déterminer la dimension suffisante  $L$  de la cavité pour obtenir une directivité donnée, sachant que la directivité maximale serait obtenu pour  $L=\infty$ , et est donnée par  $\Delta\theta_{3\text{dB}}=2/\sqrt{Q}$ . Dans notre exemple (Figure 5a), nous avons pris  $L\approx 6\lambda$ .

Il est à noter que le procédé que nous venons de voir est équivalent au premier procédé si, au lieu de prendre un point de la surface, on fait tendre ce point vers l'infini.

#### IV. Effet de la dépendance angulaire de (r, t)

Dans la partie II l'effet de la dépendance angulaire de (r, t) n'a pas été pris en compte. Outre l'augmentation de la réflectivité, l'augmentation du nombre de couche de PSR pour réaliser la parois de la cavité peut permettre de modifier la dépendance angulaire de (r, t). Les couches supplémentaires ne doivent pas être mises à la distance  $2D$  pour éviter la résonance de deux cavités à la même fréquence et obtenir un diagramme à deux lobes [9]. Il faut vérifier si une dépendance angulaire permet d'obtenir, dans le cas infini, une directivité permettant une meilleure bande passante, c'est à dire voir si on peut faire 'mieux que  $2/\sqrt{Q}$ '. La question est : à bande passante équivalente ( $Q$  équivalent), peut-on obtenir une ouverture plus faible en prenant en compte la dépendance angulaire de (r, t)? En utilisant le procédé de la partie II on peut évaluer l'ouverture angulaire dans le cas où la dépendance angulaire de (r, t) est prise en compte :

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = 2 \arccos \left[ \frac{1}{\varphi_r(0)} \left( \varphi_r(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2) - \arccos \left\{ \frac{1}{2|r(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2)|} \left( |r(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2)|^2 + 1 - \left( 1 + |r(0)|^2 - 4|r(0)| \frac{|t(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2)|^2}{|t(0)|^2} \right) \right\} \right) \right] \quad (8)$$

On remarque que le terme de droite dépend également de l'angle, mais pour voir l'effet de la variation du coefficient de réflexion on pose :

$$\varphi_r(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2) = a\varphi_r(0), |r(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2)| = b|r(0)|, |t(\Delta\theta_{3\text{dB}}/2)|^2 = 1 - b^2|r(0)|^2 \quad (9)$$

à module de  $r$  constant ( $b$  constant) on remarque que l'ouverture diminue si la phase de  $r$  augmente ( $a>1$ ) en fonction de l'angle (Figure 6). A phase de  $r$  constant, on remarque qu'une variation du module, quelle qu'elle soit ( $b<1$  ou  $b>1$ ), permet la diminution de l'ouverture angulaire (Figure 7).  $Q$ , qui en principe ne dépend que des valeurs en incidence normale de la phase et du module du coefficient de réflexion, n'est pas modifié. La variation en fonction de l'angle de  $r$  peut permettre d'obtenir une ouverture angulaire plus faible pour une même bande passante.

Il est donc intéressant d'étudier la variation du coefficient de réflexion de différentes structures. Il faut rechercher la structure dont la phase du coefficient de réflexion augmente avec l'incidence. Cette structure peut être une PSR,

plusieurs couches de PSR, une structure périodique 2-D à maille triangulaire, etc..

Dans le cas d'une rangée de tiges métalliques, la phase du coefficient de réflexion augmente avec l'angle d'incidence (Figure 8) et donc, en principe, l'ouverture angulaire idéale est plus faible que  $2/\sqrt{Q}$ .

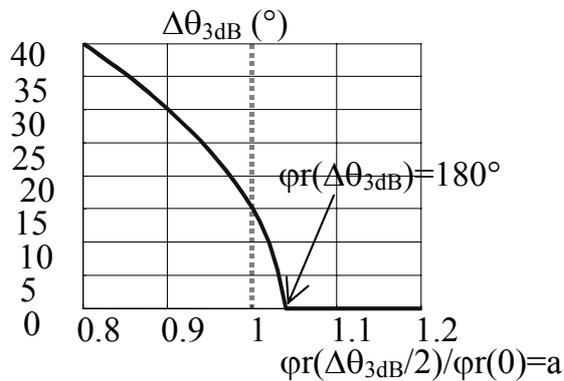


Figure 6 : Effet de la variation en fonction de l'angle de la phase de  $r$  sur l'ouverture angulaire,  $\varphi_r(0)=172^\circ$ ;  $|r|=0.9$ .

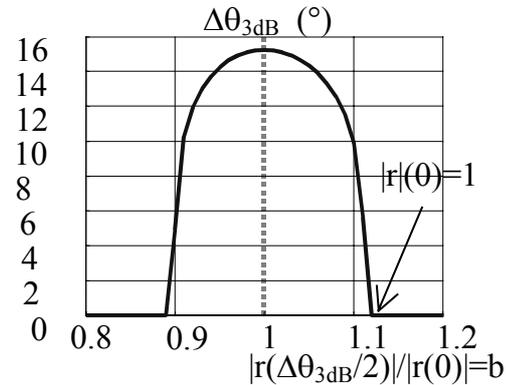


Figure 7 : Effet de la variation en fonction de l'angle du module de  $r$  sur l'ouverture angulaire,  $\varphi_r(0)=172^\circ$ ;  $|r|=0.9$ .

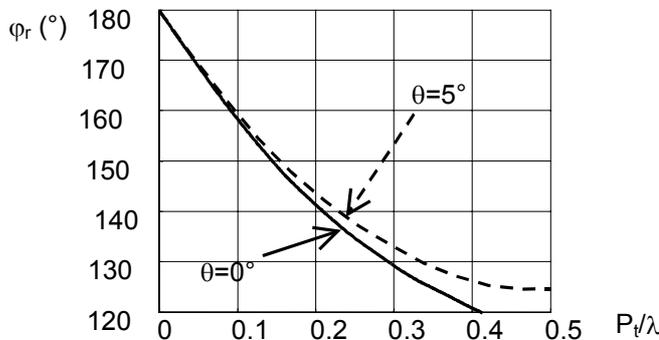


Figure 8 : Phase du coefficient de réflexion pour deux angles d'incidences ( $P_t=40\text{mm}$ ,  $a=2\text{mm}$ ).

## V. Conclusion

Nous avons décrit deux méthodes, basées sur la décomposition en ondes planes de la source, pour évaluer le diagramme de rayonnement et la directivité d'une structure antenne-cavité Fabry-Pérot. La première méthode permet de déterminer la position des surfaces par rapport à la source et d'estimer l'ouverture angulaire à -3dB. La seconde permet de mieux prendre en compte l'effet de finitude de la cavité. Nous avons ensuite montré l'effet de la variation angulaire des surfaces. Pour créer une structure directive avec une large bande passante, il faut un module du coefficient de réflexion en incidence normale peu élevé ( $Q$  faible) mais avec une variation importante de la phase du coefficient de réflexion en fonction de l'angle d'incidence. Nous comptons pour cela étudier différentes géométries.

## Références

- [1] G.V. TRENTINI, "Partially reflecting sheet arrays", IRE Trans. On Anten. and Prop., 1956, vol. 4, pp. 666-671.
- [2] J.R. JAMES et al., "Leaky-wave multiple dichroic beamformers", Electron. Lett., 1989, v. 25, n. 18, pp. 1209-1211
- [3] A.P. FERESIDIS and J.C. VARDAXOGLU "High gain planar antenna using optimized partially reflective surfaces", IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., December 2001, vol 148, no6, pp. 345-350.
- [4] R. SAULEAU, "Etude de résonateurs de Pérot-Fabry et d'antennes imprimées en ondes millimétriques. Conception d'antennes à faisceau gaussien", Thèse de l'Université de Rennes 1, Déc. 1999
- [5] R. BISWAS, E. OZBAY, B. TEMELKURAN, M. BAYDINDIR, M. SIGALAS et K.-M. HO, "Exceptionally directional sources with Photonic Band-Gap crystals", Optical Society of America, v. 18, n. 11, November 2001.
- [6] M. THEVENOT, C. CHEYPRE, A. REINEX and B. JECKO, "Directive Photonic Band-Gap Antennas", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, vol. 47, no. 11, November 1999.
- [7] T. AKALIN, J. DANGLLOT, O. VANBESIEN, and D. LIPPENS, "A highly directive Dipole Antenna Embedded in a Fabry-Perot type cavity", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 12, no. 2, February 2002
- [8] R. SAULEAU, G. LE-RAY, Ph. COQUET, "Parametric Study and Synthesis of 60 GHz Fabry-Perot Resonators", Microwave and Optical Technology Letters, vol. 34, n° 4, pp. 247-252, Aout 2002
- [9] H. BOUTAYEB, K. MAHDJOUBI, A.C. TAROT, "Frequency Beam Scanning and Gain Enhancement Properties of PBG Antenna" 2003 APS/URSI Symposium, Columbus, Ohio, USA, June 2003, accepté.