

# DEPHASEURS PLANAIRES SUR SUBSTRAT DIELECTRIQUE-FERRITE POUR ALIMENTATION DES RESEAUX D'ANTENNES

B. BENBAKHTI, M. MELIANI, M. FEHAM,  
N. BENAHMED, S. DALI

Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, BP 230, Chetouane, 13000 Tlemcen, Algérie  
e-mail: m\_Feham@mail.univ-tlemcen.dz

## Résumé:

Cet article est consacré à la caractérisation, par la méthode des éléments finis sous MATLAB [1], des déphaseurs à ferrite pour des réseaux d'antennes imprimées à balayage électronique. La structure du déphaseur est constituée d'un ruban métallique posé sur un substrat diélectrique-ferrite polarisé longitudinalement. Les résultats d'analyse concernent la dispersion et la réponse fréquentielle du déphaseur. L'influence du champ magnétique statique de polarisation du ferrite sur ces paramètres est également exposée.

**Mots clés :** déphaseurs planaire, ferrite , magnétisation longitudinale, analyse, méthode des élément finis (MEF), MATLAB

## I. INTRODUCTION

Un dispositif simple et peu coûteux a été étudié pour changer la phase d'un signal dans une ligne d'alimentation d'une antenne microruban à balayage-électronique [2], [3], [4], [5], où le changement de la phase d'alimentation agit sur la direction du faisceau. La structure générale d'un réseau d'antennes à balayage électronique est schématisée sur la figure 1. Les anciens déphaseurs étant encombrants, la microélectronique a permis actuellement d'intégrer le déphaseur à la ligne d'alimentation de l'antenne imprimée. L'ensemble du dispositif antenne, ligne d'alimentation sont gravés sur la même face du substrat (figure 2). L'utilisation du ferrite comme substrat de la ligne d'alimentation permet d'intégrer le déphaseur à la ligne et la variation de la phase du signal d'alimentation est obtenue par action sur le champ magnétique statique appliqué au ferrite.

Le choix de ces déphaseurs se justifie par les avantages suivants :

- une largeur de bande étroite,
- un rayonnement parasite faible,
- le déphasage peut être modifié par commande électronique du champ  $H_0$ , induit dans le ferrite,
- le circuit à micro-ondes est passif, et contrairement aux dispositifs contenant des composants actifs, supporte mieux la puissance.

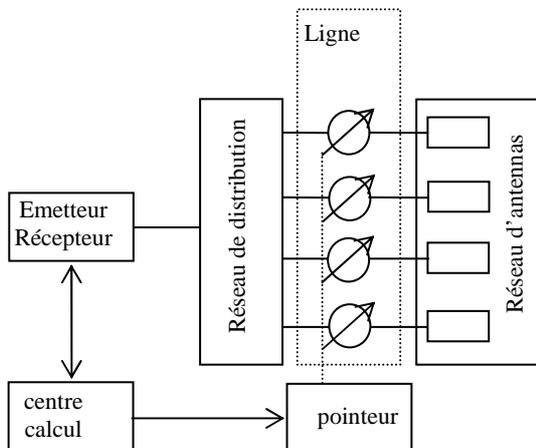


Figure 1 : Réseau d'antennes avec lignes d'alimentation

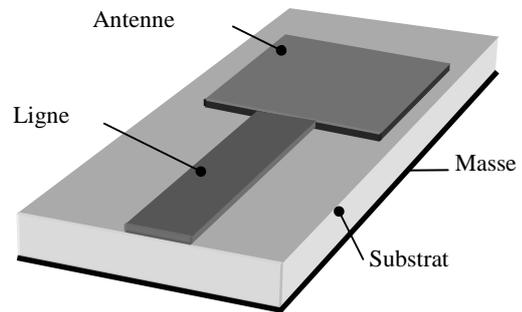


Figure 2 : Alimentation d'une antenne par ligne microruban

Le caractère et son déphasage maximum par unité de longueur. Le ferrite utilisé est magnétisé longitudinalement le long de l'axe de propagation (z), assurant de ce fait la réciprocité du système.

## II. TENSEUR DE PERMEABILITE DU FERRITE

Le tenseur de perméabilité du ferrite, déduit de celui de Polder [5], est contrôlé par la direction et l'amplitude du champ magnétique statique appliqué au ferrite. Lorsque ce champ est dirigé selon la direction longitudinale de la ligne de transmission, le tenseur de perméabilité prend la forme suivante :

$$\underline{\underline{\mu}} = \begin{bmatrix} \mu & -jk & 0 \\ -jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mu_0 \quad (1)$$

où

$$\mu = 1 + \frac{(\gamma\mu_0)^2 MH_0}{(\gamma\mu_0 H_0)^2 - w^2}, \quad k = \frac{(\gamma\mu_0) Mw}{(\gamma\mu_0 H_0)^2 - w^2},$$

$$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - k^2}{\mu}$$

$\mu_0$  et  $\gamma$  représentent respectivement la perméabilité absolue et la constante gyromagnétique (2.8 MHz/Oe).  $w$  est la pulsation de travail.  $M$  et  $H_0$  sont respectivement l'aimantation de saturation et la champ magnétique statique appliqué au ferrite.

$\mu_{eff}$  est la perméabilité effective du matériau ferrite polarisé longitudinalement.

### III. PARAMETRES CARACTERISTIQUES DU DEPHASEUR

Nous exposons dans cette partie, les résultats d'analyse de la ligne microruban reposant sur un substrat diélectrique-ferrite polarisé longitudinalement par un champ magnétique statique (figure 3)[6],[7],[8]. Une action sur ce champ statique entraîne une modification du tenseur de perméabilité et par conséquent la phase introduite sur le signal d'alimentation de l'antenne. Pour atteindre cet objectif, nous évaluons les paramètres du déphaseur décrits par l'impédance caractéristique et le déphasage maximum par unité de longueur. Ces résultats sont déduits par analyse du déphaseur par la méthode des éléments finis (MEF) [6], qui s'avère une technique numérique efficace et appropriée à l'étude des structures de géométries complexes.

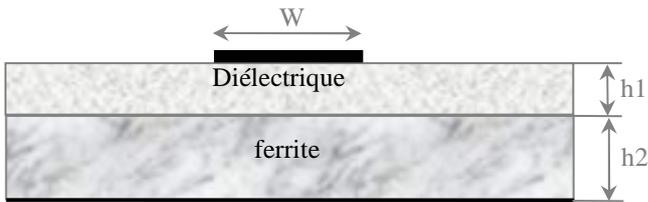


Figure 3 : Ligne microruban sur un substrat diélectrique-ferrite.

Nous présentons dans un premier temps le rapport  $\beta / k_0$  ( $k_0$  est le coefficient de propagation à vide) ainsi que l'impédance caractéristique  $Z_c$  des déphaseurs conçus à partir des deux ferrites suivants :

Ferrite	Ferrite A	Ferrite B
Permittivité relative du ferrite ( $\epsilon_{rf}$ )	16.6	16.6
Magnétisation de saturation ( $4\pi M_s$ )	2300 G	2800 G
Magnétisation maximale ( $4\pi M_{max}$ )	1740 G	2240 G

Tableau 1: paramètres physiques des ferrites [ 7]

L'analyse a été menée dans les deux cas suivants de polarisation des ferrites :

- lorsque le ferrite est démagnétisé ( $4\pi M=0$ ),
- lorsqu'il y a une polarisation maximale ( $M=M_{max}$ ).

La ligne constituant les déphaseurs admet les paramètres physiques et géométriques suivants :

	Déphaseur A	Déphaseur B
Largueur du ruban (w)	0.900 mm	0.600 mm
Epaisseur du diélectrique (h1)	0.254 mm	0.254 mm
Epaisseur du ferrite (h2)	1.150 mm	0.800 mm
Permittivité relative du diélectrique ( $\epsilon_{rd}$ )	9.9 (Al)	9.9 (Al)
L'épaisseur du ruban métallique est négligeable		

Tableau 2: paramètres physiques et géométriques des deux Ferrites [7]

Les résultats d'analyse, obtenus par le modèle numérique développé, sont confrontés à ceux de la littérature [7] et présentés sur les figures 4 à 7. L'ensemble de ces graphes montrent la validité de notre modèle théorique et son aptitude à analyser différentes configurations de lignes de transmission constituées de ferrite (tenseur de perméabilité).

### IV. REPOSE DU DEPHASEUR

L'élément principal du déphaseur étant la ligne de transmission analysée précédemment, nous montrons dans ce paragraphe l'importance d'utiliser des ferrites dans les lignes de transmission microrubans en calculant l'efficacité du déphasage  $\Delta\phi$  donnée par  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ .  $\phi_1$  et  $\phi_2$  sont les phases du coefficient de propagation  $\gamma$  correspondant respectivement à une désaimantation et une magnétisation maximale du milieu ferrimagnétique. La variation de cette différence de phase pour plusieurs valeurs de la magnétisation  $M$  ( $M=0.3M_s$ ,  $M=0.6M_s$  et  $M=0.9M_s$ ), d'une ligne microruban multicouche dont les caractéristiques sont données sur tableau 3, est schématisée sur la figure 8.

Ligne microruban	Paramètres
Largueur du ruban (w)	1.800 mm
Epaisseur du diélectrique (h1)	0.254 mm
Epaisseur du ferrite (h2)	1.140 mm
Permittivité relative du diélectrique ( $\epsilon_r$ )	2.22
Permittivité relative du ferrite ( $\epsilon_{rf}$ )	16.5
Magnétisation de saturation ( $4\pi M_s$ )	2300 G

Tableau 3 : paramètres physiques et géométriques de la ligne.

Nous observons sur la figure 8 que plus l'aimantation  $M$  du ferrite augmente, plus la différence de phase  $\Delta\phi$  augmente avec une translation de la discontinuité qui se présente respectivement à 9.375 GHz, 12.2 GHz et 15.6 GHz. Cette discontinuité est due aux valeurs infinies des éléments du tenseur de perméabilité  $\mu$  et  $k$  à ces fréquences.

Ce résultat montre bien qu'il est possible de changer le déphasage dans une ligne microruban à ferrite par la modification de l'aimantation  $M$  du milieu ferrimagnétique.

Le déphaseur conçu étant un biporte de longueur 86 mm, nous présentons sur la figure 9 sa réponse fréquentielle.

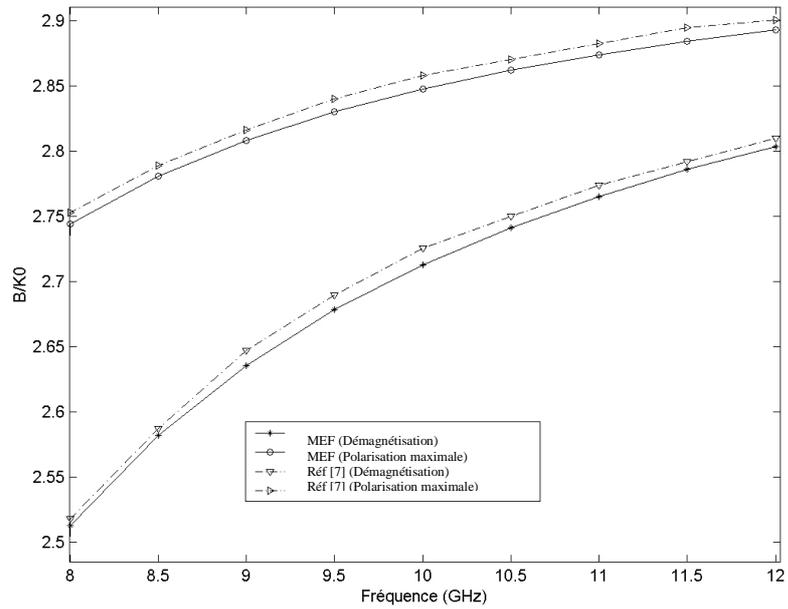


Figure 4: Caractéristique de dispersion du déphaseur A

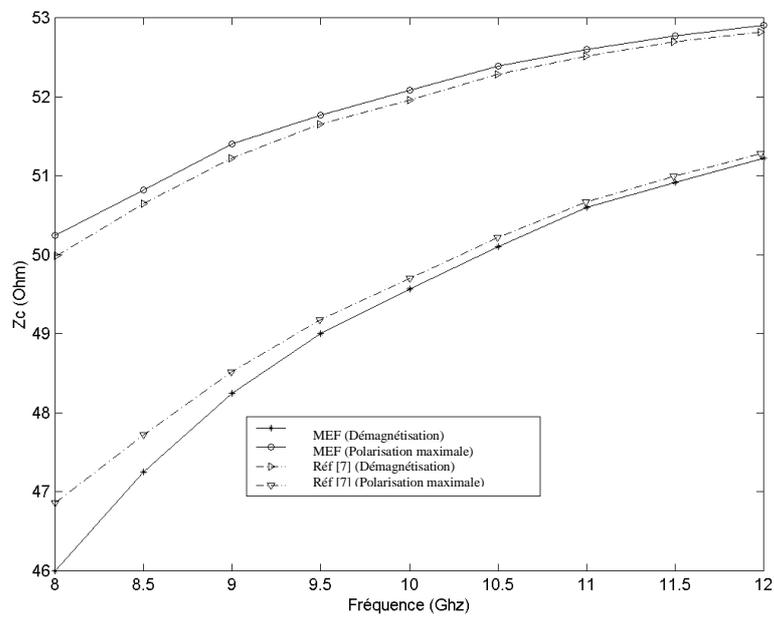


Figure 5: Impédance caractéristique du déphaseur A

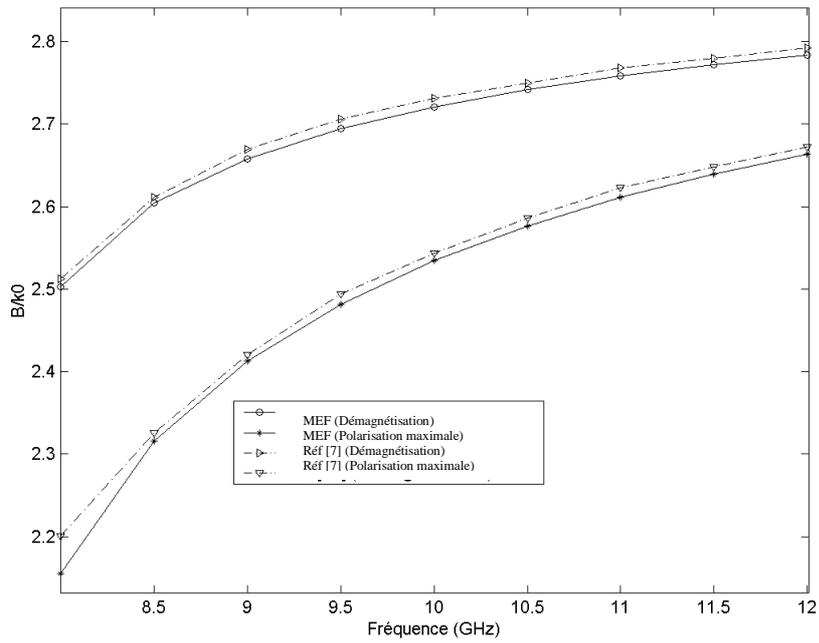


Figure 6 : Caractéristique de dispersion du déphaseur B

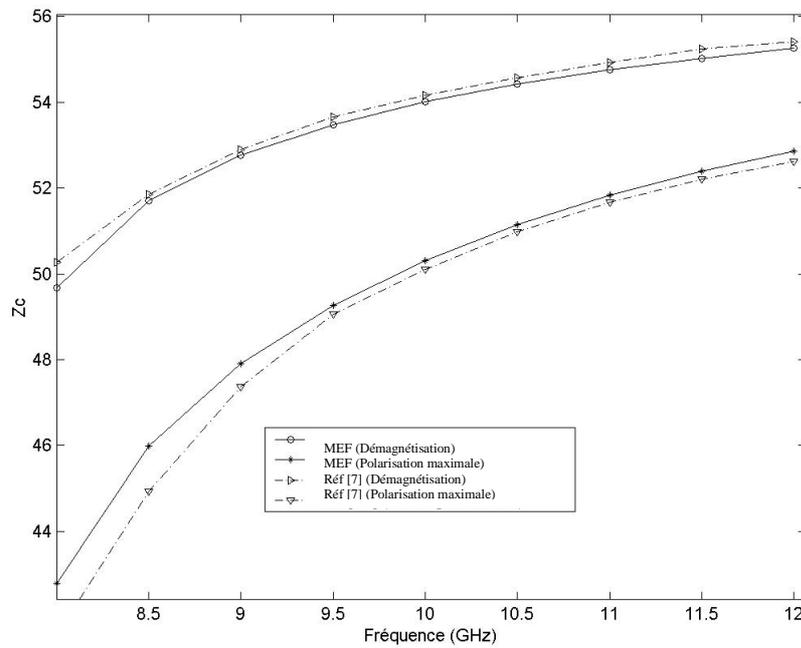


Figure 7: Impédance caractéristique du déphaseur B

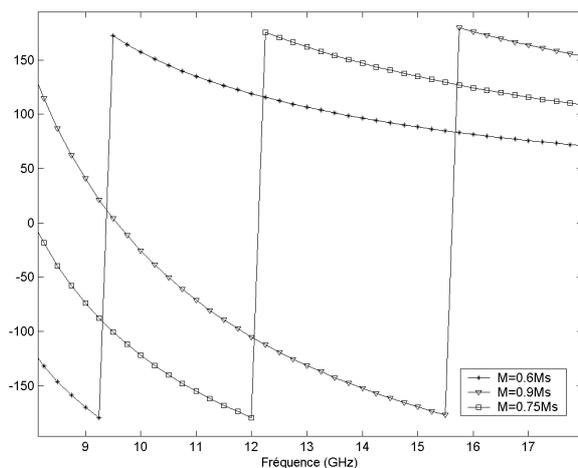


Figure 8 : Efficacité de déphasage

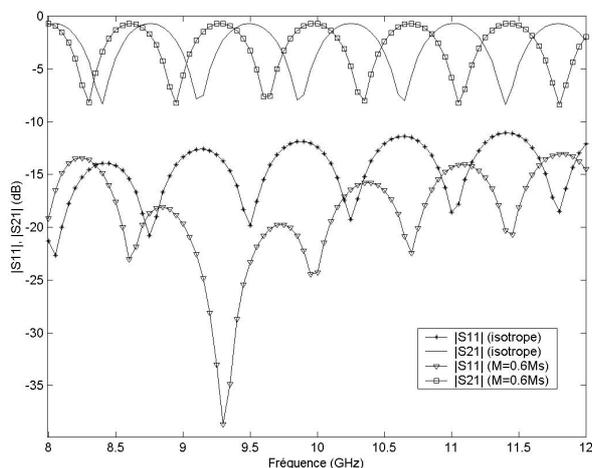


Figure 9 : Réponse fréquentielle du déphaseur

Ces résultats montrent qu'à l'état isotrope ( $M=0$ ), les pertes sont de l'ordre de  $-1.5$  dB sur la bande de fréquence 8-12 GHz tandis que le coefficient de réflexion  $|S_{11}|$  devient faible pour des fréquences inférieures à 8.5 GHz. Pour le cas anisotrope et plus précisément lorsque  $M=0.6M_s$ , nous observons une légère modification de  $|S_{21}|$  par rapport au cas isotrope mais le coefficient de réflexion  $|S_{11}|$  devient de plus en plus important, surtout à la fréquence 9.3 GHz. Cette dernière correspond à une valeur limite de l'élément du tenseur de perméabilité  $\mu$ .

C'est l'avantage d'utiliser un tel ferrite pour ajuster le comportement de ces paramètres en variant l'état d'aimantation du milieu ferrimagnétique.

## V. CONCLUSION

Cet article a été consacré à la conception et à la modélisation d'un déphaseur à ferrite employé dans les réseaux d'antennes à balayage électronique. Nous avons dans un premier temps validé notre modèle numérique

d'analyse des structures anisotropes et ensuite calculé le déphasage introduit par le ferrite sous l'action de son champ magnétique de polarisation. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de l'outil numérique développé qui reste valable pour l'analyse d'un réseau de déphaseur constitué d'une structure multilignes planaires.

## VI. REFERENCES

- [1] MATLAB, Partial differential equation toolbox user's guide, MathWorks, 1997.
- [2] P. T. THEO, J. A. JOSE, Y. B. GAN & V. K. VARADAN: "Adaptative ferroelectric phased shifters for phased array antenna", IEEE on MTT, Center for the engineering of electronic and acoustic materials, the Pennsylvania State University, Singapore 118230, 1996.
- [3] S. BOLILOLO, H. BENZINA, H. BAUDRAND & B. CHAN: "Centimeter wave microstrip phase shifter on a ferrite-dielectric substrate", IEEE on MTT, vol. 37, N°4, 1989.
- [4] S. K. KOUL & B. BHAT: "Microwave and millimeter wave phase shifters", British Library Cataloguing in Publication Data, 1991.
- [5] P. LEROUX: "Contribution à l'étude des résonateurs à ferrite : application à la caractérisation des échantillons gyromagnétiques", Thèse de Doctorat de l'université de Limoges (France), 1987.
- [6] Z. PANIC & R. MITTRA: "Quasi TEM analysis of Microwave transmission lines by the finite element method", IEEE on MTT, vol. 44, N° 11, 1986.
- [7] T. FUKUSAKO, Y. SEKI & N. MITA: "Dispersion characteristic of microstrip line using ferrite substrate magnetised longitudinally", IEEE electronic Letters online, vol. 34, N° 16, 1998.
- [8] M. HORNO, F. L. MESA, F. MEDINA & R. MARQUES: "Quasi TEM analysis of multilayered multiconductor coplanar structures with dielectric and magnetic anisotropy including substrate losses", IEEE on MTT, vol. 38, N° 8, 1990.