

Modélisation d'une antenne patch miniature, multi-bandes à polarisation circulaire

S.Jemmeli¹, T.Monédière¹, L.Huitema¹

¹ Xlim, 12 rue Gémini 87069 Limoges Cedex, France
Sarraj.jemmeli@xlim.fr

Résumé – Le développement d'une antenne miniature, multi-bandes et à polarisation circulaire par l'utilisation d'un matériau ferrite est présenté dans ce papier. En effet, les propriétés magnétiques et plus particulièrement leur caractère anisotrope et non réciproque seront mis à profit. Le rayonnement d'ondes à polarisation circulaire s'avère délicat à obtenir lorsque cet objectif doit être cumulé avec la miniaturisation des dispositifs et un fonctionnement multi-bandes. Ce papier proposera une solution pour répondre à ces différents challenges.

1. Introduction

L'évolution des dispositifs antennaires constitue un atout majeur au développement des systèmes de télécommunication. De ce fait, les recherches se sont multipliées afin de répondre aux exigences du marché en termes de performances. Au cours de ces dernières années, il a été établi que l'incorporation de matériaux ferrites dans les antennes patch peut offrir plusieurs avantages qui ne peuvent pas être obtenus en utilisant les matériaux diélectriques [1]. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui vise à exploiter les propriétés des matériaux ferrites pour mettre en œuvre une antenne à la fois miniature, à polarisation circulaire et qui fonctionne sur plusieurs bandes de fréquences.

Dans les travaux issus de la littérature, il a été montré qu'une antenne patch rectangulaire peut générer une polarisation circulaire soit lorsqu'elle est excitée par deux sondes d'alimentation déphasées entre elles de 90° [2], soit lorsqu'elle présente des encoches. Cependant, ces types de dispositifs antennaires présentent plusieurs inconvénients d'encombrement, de qualité de polarisation et de bande passante [3]. Afin d'améliorer les caractéristiques des antennes patch, la solution est d'utiliser les matériaux ferrites. En effet, grâce à leurs propriétés intrinsèques, notamment l'anisotropie et la non-réciprocité, les ferrites sont capables de générer, sous l'influence d'un champ magnétique appliqué, deux ondes de polarisation circulaire de sens opposés [4]. De plus, en raison du caractère dispersif des ferrites, plusieurs modes apparaissent à des fréquences de travail différentes ce qui permet d'envisager la notion d'antenne multi-bandes. Ainsi, à certaines fréquences, le ferrite présente une perméabilité supérieure à 1 ce qui permet de réduire significativement les dimensions de l'antenne [4].

Ce papier est décomposé en deux parties : La première est dédiée à la présentation des propriétés fondamentales

des ferrites. La deuxième partie porte sur la modélisation d'une antenne patch à ferrite alimentée par une seule sonde d'excitation. Cette antenne est optimisée pour fonctionner sur trois bandes de fréquence. Sur ces trois bandes, l'antenne est à polarisation circulaire (droite ou gauche) tout en étant miniature sur ses premiers modes de fonctionnement. Une étude magnétostatique visant à étudier le champ magnétique interne du ferrite est présentée dans un premier temps. Cette analyse est associée à une étude électromagnétique qui a pour but de relever les performances de l'antenne sur chaque mode de propagation.

2. Propriétés fondamentales des ferrites saturés :

La réponse dynamique d'un matériau ferrite polarisé par un champ magnétique statique est traduite par une perméabilité tensorielle. Cette grandeur traduit le comportement non-réciproque du matériau. Polder [5] a décrit le comportement des ferrites saturés à travers un tenseur de perméabilité donné par l'équation (1) :

$$[\mu_r(\omega)] = \begin{bmatrix} \mu & -j\kappa & 0 \\ j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Avec :

$$\begin{cases} \mu = 1 + \frac{\omega_m \omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} = \mu' - j\mu'' \\ \kappa = \frac{\omega_m \omega}{\omega_0^2 - \omega^2} = \kappa' - j\kappa'' \end{cases} \quad (2)$$

Et: $\omega = 2\pi f$, ω_m est la pulsation liée à la fréquence gyrotropique f_m et est définie telle que $\omega_m = \gamma \mu_0 M_s$, ω_0 est liée à la fréquence de résonance gyromagnétique donnée par $\omega_0 = \gamma \mu_0 H_i + j\omega \alpha$, avec α le facteur d'amortissement tel que : $\alpha = \frac{\gamma \Delta H}{2f}$

Les paramètres μ et κ dépendent de l'aimantation à saturation $4\pi M_s$, de la fréquence f et du champ interne H_i .

Un autre paramètre important qui détermine les zones de fonctionnement de l'antenne est la perméabilité effective μ_{eff} (3).

$$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - \kappa^2}{\mu} \quad (3)$$

Le dispositif antennaire fonctionnera dans deux régions distinctes comme le montre la figure 1: au-dessous de la résonance gyromagnétique qui est appelée zone en champ fort et au-dessus de la résonance et en dehors de la région

où $\mu_{\text{eff}} < 0$ appelée zone en champ faible, ceci afin de s'éloigner des zones de pertes [5].

Pozar a montré que la fréquence de travail de l'antenne était liée à μ_{eff} , ainsi si $\mu_{\text{eff}} > 1$ l'antenne voit ses dimensions réduites [4].

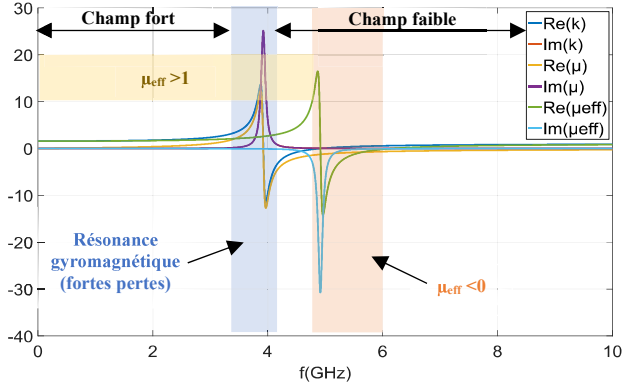


Figure 1 : Les paramètres de Polder en fonction de la fréquence.

3. Simulations :

1.a. Configuration de l'antenne :

La figure 2 présente le patch utilisant un substrat de ferrite de dimensions $10 \times 10,5 \text{ mm}^2$ qui est déposé sur un plan de masse rectangulaire. Le dispositif est alimenté par un câble coaxial. Le substrat ferrite utilisé est le Y39 (Yttrium – Aluminium). Afin de modéliser le fonctionnement de l'antenne dans le cas réel, le ferrite est polarisé par deux aimants, le premier est positionné au-dessus de l'élément rayonnant et le deuxième au-dessous du plan de masse. Les caractéristiques de ces aimants sont choisies de telle sorte qu'elles garantissent un champ interne, au niveau du substrat ferrite, le plus homogène possible. La modélisation de la structure est effectuée en utilisant CST Microwave studio et en couplant l'analyse électromagnétique et l'analyse magnétostatique.

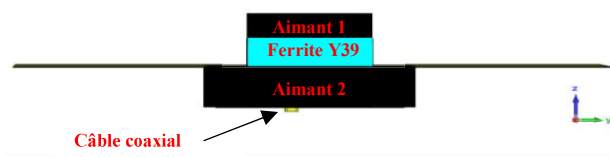


Figure 2: Configuration de l'antenne patch avec $4\pi M_s=800 \text{ G}$, $\epsilon_r=14.6$, $\Delta H_{\text{eff}}=4 \text{ Oe}$, $\tan \delta=2.10^{-4}$.

1.b. Etude magnétostatique :

Une étude magnétostatique est effectuée dans le but de caractériser le champ interne au niveau du ferrite en présence des deux aimants permanents. Ainsi, la variation du champ interne au milieu du substrat Y39 est relevée sur la figure 3 pour deux plans de coupe $x=0$ et $y=0$.

Ce tracé montre, d'une part, que le champ interne est non-uniforme et varie entre 1350 Oe et 1500 Oe (valeur moyenne de 1420 Oe), et d'autre part qu'il existe une région où le H_i est très faible autour de la sonde. L'influence de ces facteurs sera donc étudiée dans les parties suivantes.

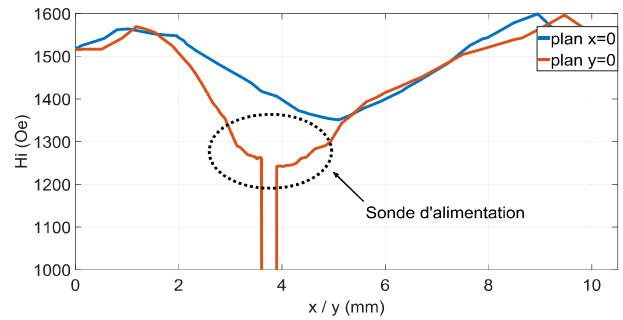


Figure 3: Evolution du H_i au milieu du ferrite

1.c. Co-simulations :

• Résultats en champ fort :

Une première étude électromagnétique associée à une analyse magnétostatique a été conduite en champ fort (figure 1). Les paramètres principaux de l'antenne dans cette région ($|S_{11}|$, taux d'ellipticité, efficacité de rayonnement η_{rad} et efficacité totale η_{tot}) sont reportés sur les figures 4 et 5:

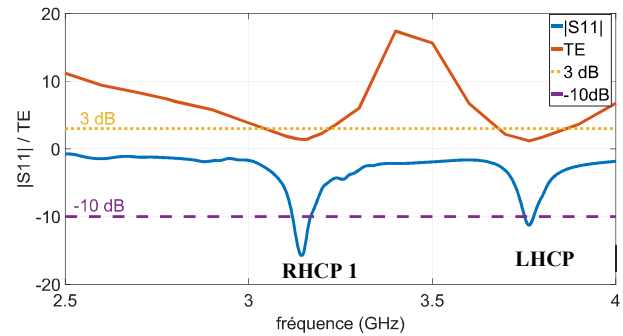


Figure 4: $|S_{11}|$ et taux d'ellipticité en champ fort

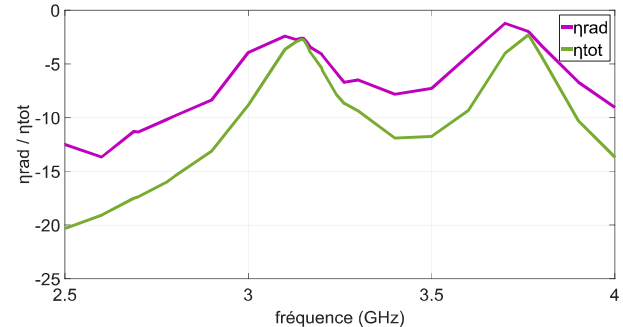


Figure 5: Efficacité de rayonnement et efficacité totale en champ fort

D'après la figure 4, en champ fort, l'antenne présente deux modes de fonctionnement à polarisation circulaire de sens opposés. Le premier mode à polarisation droite (RHCP) est à une fréquence de 3.15 GHz et le deuxième mode à polarisation gauche (LHCP) apparaît à une fréquence de 3.76 GHz. Sur ces modes le dispositif antennaire est bien adapté puisqu'il présente un $|S_{11}|$ inférieur à -10 dB avec un taux d'ellipticité dans l'axe inférieur à 3 dB aux fréquences de fonctionnement. Cependant, des fluctuations au niveau du $|S_{11}|$ apparaissent qui peuvent être justifiées par le fait qu'il existe des régions où le champ magnétique interne est

faible et donc dans ces zones on se retrouve dans la résonance gyromagnétique.

D'après la figure 5, l'antenne présente une efficacité de rayonnement de -2.6 dB et en tenant compte des pertes par désadaptation, le rayonnement est de -2.7 dB sur le premier mode RHCP. Sur le deuxième mode η_{rad} vaut -2 dB et η_{tot} est de l'ordre de -2.3 dB.

Dans un premier lieu, on s'intéresse à la caractérisation du premier mode RHCP. Pour cela on relève le μ_{eff} de la figure 1 à sa fréquence de résonance. A 3.15 GHz le μ_{eff} vaut $1.97 > 1$, les dimensions du dispositif sont de l'ordre de $\frac{\lambda_0}{10} \times \frac{\lambda_0}{9} \times \frac{\lambda_0}{38}$ ce qui implique ainsi qu'il est bien miniature.

Pour mieux discerner la qualité de polarisation et le rendement de l'antenne sur le premier mode RHCP, on relève la cartographie du champ E, le diagramme de rayonnement de l'antenne dans l'axe ainsi que l'évolution du taux d'ellipticité en fonction de θ pour différents plans de coupe comme l'indique les figures 6 et 7.

La cartographie du champ E, donnée par la figure 6 (a), montre une rotation du champ dans le sens trigonométrique suite à la variation de sa phase, ce qui confirme que la polarisation est bien circulaire droite. De plus, le diagramme de rayonnement présenté dans la figure 6 (b) nous renseigne sur la direction de rayonnement de l'antenne qui est maximale dans l'axe. La figure 7 indique que le taux d'ellipticité est inférieur à 3 dB sur une plage angulaire qui s'étale de -50° jusqu'à 70°.

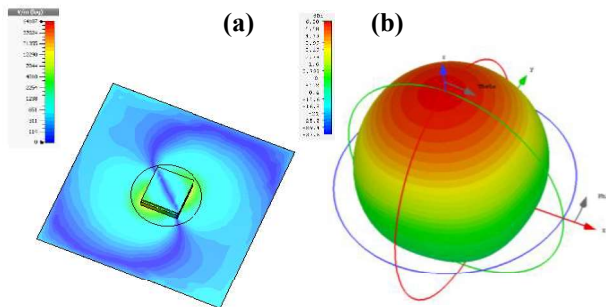


Figure 6: (a) : Cartographie du champ E, (b) Diagramme de rayonnement à 3.15 GHz.

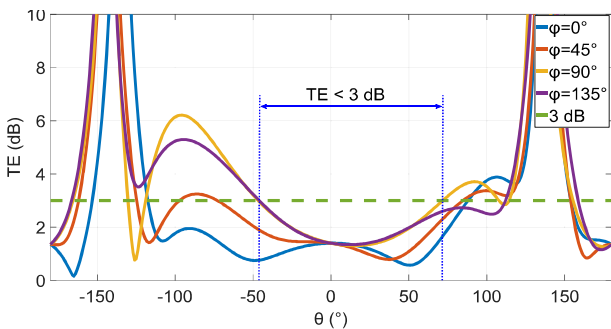


Figure 7: TE du 1^{er} mode RHCP en fonction de θ pour différents plans de coupe ($\varphi=0^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\varphi=135^\circ$).

Quant au deuxième mode de fonctionnement de l'antenne est LHCP qui est à une fréquence de 3.76 GHz. Sur ce mode le μ_{eff} vaut de $2.4 > 1$ et les dimensions de

l'antenne sont de l'ordre de $\frac{\lambda_0}{8} \times \frac{\lambda_0}{7} \times \frac{\lambda_0}{32}$ qui montre que l'antenne est bien miniature sur ce mode.

De même pour ce mode, on relève la cartographie du champ E, le diagramme de rayonnement ainsi que le taux d'ellipticité en fonction de θ pour les plans de coupe ($\varphi=0^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\varphi=135^\circ$) comme le montre les figures 8 et 9.

La distribution du champ E, donnée par la figure 8 (a), affirme qu'on est en présence d'un mode de polarisation circulaire gauche. D'après la figure 8 (b) l'antenne présente un gain maximal dans l'axe. De plus, sur ce mode le dispositif antennaire possède une bonne qualité de polarisation sur une plage angulaire de -48° jusqu'à 50° (figure 9).

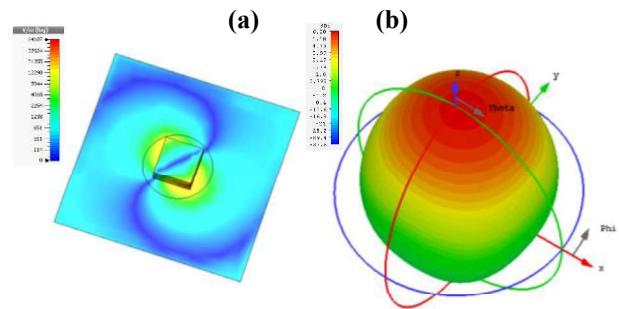


Figure 8:(a) : Cartographie du champ E, (b) Diagramme de rayonnement à 3.76 GHz.

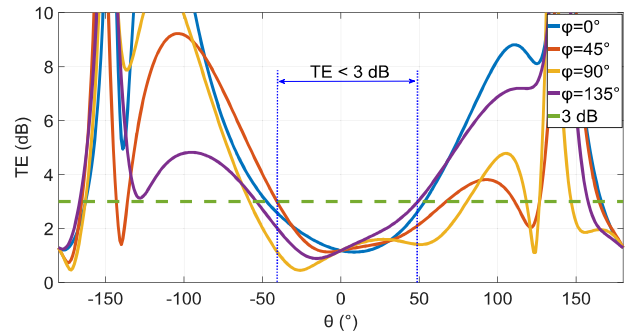


Figure 9: TE du mode LHCP en fonction de θ pour différents plans de coupe ($\varphi=0^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\varphi=135^\circ$).

Une étude similaire est faite pour cette même structure antennaire mais en champ faible c'est-à-dire pour des fréquences plus élevées.

• Résultats en champ faible :

La figure 10 indique que le deuxième mode RHCP est à une fréquence de 7.3 GHz. L'antenne est bien adaptée et présente un taux d'ellipticité dans l'axe inférieur à 3 dB sur toute la bande d'adaptation. D'après la figure 1, à la fréquence de résonance de ce mode le μ_{eff} vaut $0.5 < 1$ et les dimensions de l'antenne sont de l'ordre de $\frac{\lambda_0}{4} \times \frac{\lambda_0}{3} \times \frac{\lambda_0}{16}$.

Sur ce mode RHCP en champ faible, l'antenne rayonne 48% (-3.2 dB) de la puissance qu'elle reçoit. En tenant compte des pertes de désadaptation, l'efficacité de totale de l'antenne est de l'ordre de -3.3 dB (figure 11).