

Antenne ferrite bi-bande à polarisation circulaire

J. Leon Valdes, W. Bhowmik, T. Monédière, E. Arnaud, S. Jemmeli, C. Guines, L. Huitema

Laboratoire XLIM UMR 7552, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges
jehison.leon@xlim.fr

Résumé – Nous présentons dans ce travail un dispositif antennaire opérant en polarisation circulaire droite dans les bandes de fréquences L1 (1,5756 GHz) et L2 (1,227 GHz) pour des applications GNSS (système de positionnement par satellite). Cette antenne exploite les potentialités des matériaux ferrites polarisés de générer naturellement de la polarisation circulaire. Ils permettent également la diminution des dimensions de l'antenne en raison de leurs perméabilité et permittivité élevées.

1. Introduction

Le développement au cours des dernières années de systèmes de communication sans fils souvent multistandards nécessite la mise au point d'antennes plus compactes travaillant sur plusieurs bandes de fréquences. Le rayonnement d'une polarisation circulaire représente de plus une solution intéressante dans les différents domaines civil et militaire afin de contourner les défauts d'alignement entre émetteurs et récepteurs, atténuer les pertes de polarisation occasionnées par les trajets multiples, surmonter les effets de déviation, de propagation et de réflexion au sol pour des applications satellitaires [1]. Combiner la miniaturisation, un fonctionnement multibandes et le rayonnement en polarisation circulaire dans un même dispositif est un réel défi technique [2].

Les méthodes pour obtenir une polarisation circulaire au sein d'une antenne sont très variées. Une des techniques consiste à utiliser une alimentation (simple ou multiple) afin d'exciter deux modes orthogonaux linéairement polarisés avec une différence de phase de 90° [3], [4]. D'autres techniques reposent sur l'intégration de zones de perturbation sur l'antenne ou sur l'utilisation de matériaux magnétiques ou agiles [1], [5].

Dans ce contexte, les antennes à base de ferrites constituent une bonne alternative car ces matériaux possèdent, lorsqu'ils sont polarisés par un champ magnétique statique, des propriétés magnétiques spécifiques, notamment l'anisotropie, qui permettent de générer naturellement des ondes polarisées circulairement. De plus, leur perméabilité souvent supérieure à 1, associée à des permittivités élevées (entre 12 et 16 typiquement), font des ferrites des substrats appropriés à la miniaturisation des antennes [6]. Ce comportement magnéto-diélectrique des ferrites permet de plus d'améliorer davantage la bande passante d'adaptation d'une antenne par rapport à un dispositif purement diélectrique de même permittivité [7]. Ainsi,

dans ce travail nous proposons la réalisation d'une antenne bi-bande à polarisation circulaire droite fonctionnant dans les bandes de fréquences L1 et L2. Le dispositif est excité par une ligne microruban et les patchs sont gravés sur des substrats de ferrites polarisés par des aimants permanents. Les caractéristiques du ferrite, les résultats des simulations, la réalisation ainsi que la démonstration expérimentale du dispositif réalisé seront présentés.

2. Propriétés des ferrites

Le comportement anisotrope et non réciproque des ferrites aimantés à saturation par un champ magnétique statique est caractérisé par le tenseur de perméabilité de POLDER [2][8]. Celui-ci est décrit par l'équation (1) :

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

avec $\mu = 1 + \frac{\omega_m \omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2}$, $k = 1 + \frac{\omega_m \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$, $\omega_m = \gamma \mu_0 M_s$, $\omega_0 = \gamma \mu_0 H_i + j\omega\alpha$ et $\omega = 2\pi f$.

Par conséquent, μ et k dépendent du champ interne (H_i) dans le ferrite, de l'aimantation à saturation (M_s) et de la fréquence (f). Lorsque les parties réelle et imaginaire de μ (μ' et μ'' respectivement) sont tracées, il apparaît la résonance gyromagnétique. Autour de cette fréquence de résonance, les pertes magnétiques du matériau sont trop élevées pour permettre le fonctionnement efficace d'une antenne. Tant que les antennes fonctionnent en dehors de cette bande, deux zones de fonctionnement distinctes sont évoquées : au-dessous (zone de champ fort) et au-dessus (zone de champ faible) de la résonance gyromagnétique. Dans chacune de ces zones deux modes à polarisation circulaire (respectivement droite et gauche) existent dans un résonateur à ferrite [6]. Dans cette étude, nous avons utilisé le ferrite Y208 dont les propriétés sont résumées dans le Tableau 1.

Ferrite	$4\pi M_s$ (Gauss)	ΔH_{eff} (Oe)	ΔH (Oe)	ϵ_r	$\tan\delta$ (10 ⁻⁴)	Fonct.
Y208	800	2	10	14,1	2	Champ fort

Tableau 1 : Caractéristiques du ferrite

Une antenne bi-bandes a ensuite été conçue. Le champ magnétique à appliquer sur le ferrite est déterminé, afin d'obtenir les bandes de fréquence de travail souhaitées

pour l'antenne. La prochaine partie décrit la réalisation d'une antenne patch bi-bande avec ce type de matériau.

3. Conception et résultats de simulation

La conception de l'antenne s'est faite en deux étapes en utilisant CST Studio Suite. La première étape considère le substrat de ferrite avec un champ magnétique interne uniforme tandis que la deuxième étape utilise la co-simulation magnétostatique (MS) et électromagnétique (EM) qui permet de prendre en compte le champ réel délivré par les aimants qui seront utilisés pour polariser le matériau. Le dispositif proposé est représenté sur la Figure 1. Il est composé de deux patches circulaires métalliques (en or) gravés sur deux substrats de ferrite cylindriques. Ces patches sont excités par une ligne microruban gravé sur un substrat RT5880 ($\epsilon_r = 2,2$ et $\tan\delta = 9 \times 10^{-4}$) carré de 52 mm x 52 mm. La métallisation inférieure agit comme plan de masse. Cette antenne est alimentée par un connecteur coaxial qui est relié à la ligne microruban à travers le plan de masse et le substrat RT5880. Deux aimants permanents cylindriques (Cobalt Samarium) sont intégrés sur le toit de l'antenne et sous le plan de masse avec des intensités de champ magnétique de 1,04 T et 1,08 T respectivement, et choisis pour fournir le champ magnétique interne nécessaire dans les ferrites pour avoir un fonctionnement en champ fort. Les plaques en inox magnétique (Steel - 1010) sous les aimants ont été ajoutées afin d'homogénéiser le champ interne dans la ferrite. Cette antenne a des dimensions de $\lambda_0/4,7 \times \lambda_0/14,5$ (longueur du plan de masse x hauteur totale) pour la bande L2.

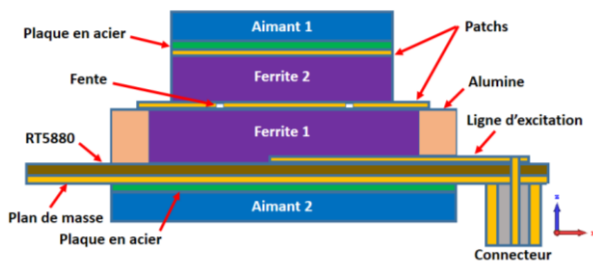


Figure 1. Coupe latérale du prototype d'antenne

Les résultats de la co-simulation des paramètres $|S_{11}|$ et du taux d'ellipticité (TE dans les axes $\varphi = 0^\circ$ et $\theta = 0^\circ$) en fonction de la fréquence sont tracés sur la Figure 2 avec un champ magnétique interne H_i de 650 Oe orienté selon l'axe z positif. L'antenne possède une polarisation circulaire droite (RHCP) dans les deux bandes de fonctionnement (L1 et L2). Les bandes passantes d'adaptation ($|S_{11}| < -10$ dB) sont égales à 1,8 % et 0,5 % respectivement et les TE < 3 dB qui couvrent au-delà de la totalité des bandes d'adaptation de l'antenne.

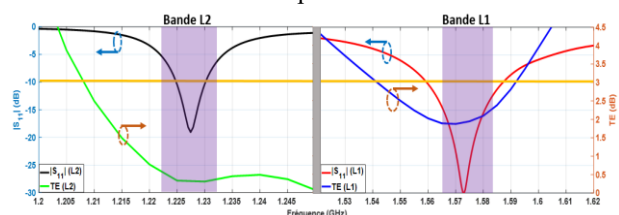


Figure 2. $|S_{11}|$ et TE en co-simulation MS-EM

Après les simulations, la validation des performances est accomplie par les mesures d'un prototype. Les métallisations ont été réalisées en utilisant les différentes techniques de microfabrication en salle blanche, et tous les éléments du dispositif ont été alignés comme montré sur la Figure 3.

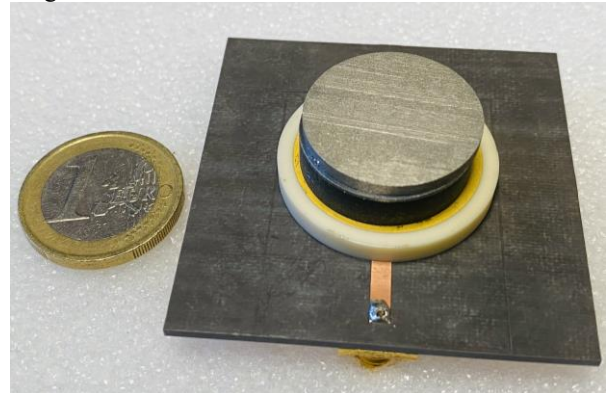


Figure 3. Prototype d'antenne fabriqué

4. Mesures du dispositif réalisé

L'antenne a été mesurée dans une chambre anéchoïde avec tous les éléments ajustés par une structure de support en Rohacell (Figure 4). Un convertisseur RF optique est utilisé pour réduire les éventuelles perturbations du câble de mesure. En effet, sa connexion par fibre optique, évite les courants de surface présents sur les câbles RF classiques qui pourraient perturber le diagramme de rayonnement de l'antenne, surtout quand celle-ci est miniature.

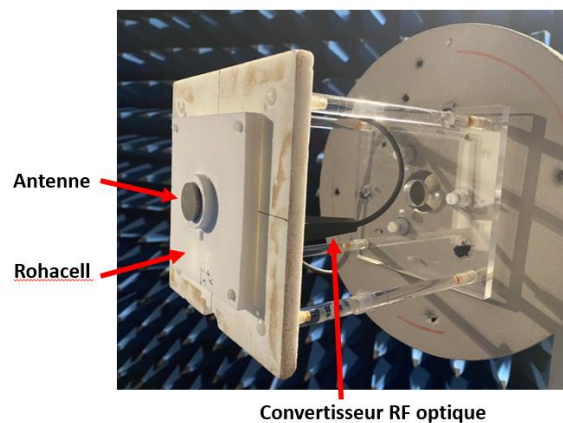


Figure 4. Phototype d'antenne sous mesure avec le support en Rohacell

Les paramètres $|S_{11}|$ et le TE mesurés en fonction de la fréquence sont tracés sur la Figure 5. Les deux bandes de fonctionnement sont autour de 1,26 GHz et 1,54 GHz, respectivement. Ce décalage fréquentiel de 2,2 % pour la bande L1 et 3 % pour la bande L2 par rapport à la simulation s'explique par les tolérances de 5 % sur la permittivité des matériaux ferrites, les tolérances des dimensions et de fabrication des différents éléments de l'antenne, mais aussi par les écarts entre les propriétés des aimants simulés et mesurés. En effet, le champ théorique des aimants (utilisé pour les simulations) est plus fort que le champ réel (celui fourni pour les mesures). Les

aimantations théorique et pratique du matériau sont donc différentes.

Sur le premier mode, le $|S_{11}|$ est inférieur à -10 dB sur une largeur de bande de 0,8 % et 1,8 % pour le deuxième mode. Pour le TE de la Figure 5, l'antenne présente une polarisation circulaire dans l'axe avec un TE inférieur à 3 dB sur les bandes passantes d'adaptation pour les deux modes.

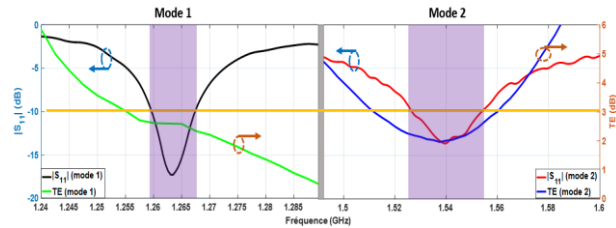


Figure 5. Résultats des mesures des paramètres $|S_{11}|$ et du TE

La Figure 6 montre les polarisations droite (polarisation principale) et gauche (polarisation croisée) normalisées mesurées aux fréquences 1,265 GHz et 1,545 GHz pour différents plans de coupe ($\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$). Le niveau du gain LHCP est inférieur d'environ 15 dB à celui de la RHCP entre -40° et 12° pour la première fréquence dans le plan $\varphi = 0^\circ$ et entre -69° et 38° pour la deuxième, ce qui témoigne d'une bonne qualité de la polarisation circulaire. Dans ce cas, la valeur maximale de gain réalisé est de -0,2 dBi (premier mode) et 1,16 dBi (deuxième mode).

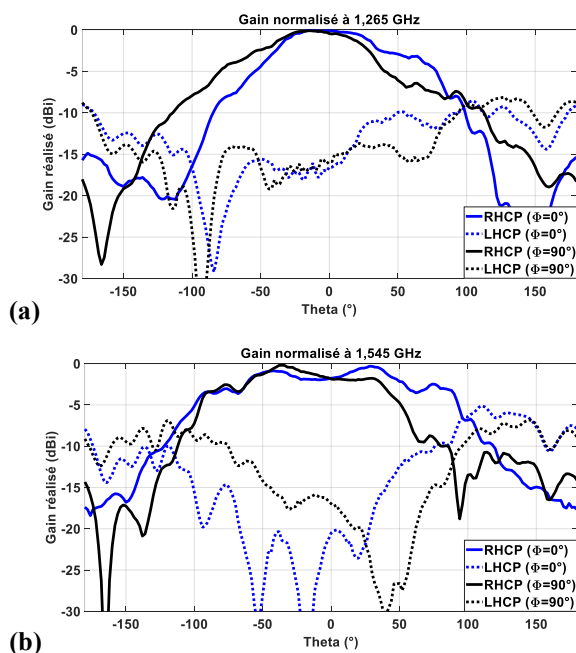


Figure 6. Gain réalisé normalisé des polarisations circulaires droites (RHCP) et gauches (LHCP) à : (a) 1,265 GHz et (b) 1,545 GHz

La Figure 7 montre la courbe avec les valeurs de gain réalisé mesurés dans l'axe ($\varphi = 0^\circ$ et $\theta = 0^\circ$) en fonction de la fréquence.

Le Tableau 2 résume les performances obtenues en termes de gain, de directivité, d'efficacité de rayonnement, de bande passante d'adaptation et de TE par

rapport à l'adaptation du dispositif pour les deux bandes obtenues, à 1,265 GHz et à 1,545 GHz.

On peut remarquer que l'antenne rayonne 27 % de la puissance acceptée sur le premier mode. Cette efficacité de rayonnement est supérieure à 57 % sur le deuxième mode. Ces pertes de rayonnement s'expliquent par la miniaturisation de l'antenne à ces fréquences, plus pour le premier mode que pour le deuxième. Dans le cas du deuxième mode, même si l'antenne est moins miniaturisée, ce mode assez proche de la zone de résonance gyromagnétique (1,67 GHz) présentant de fortes pertes magnétiques. La difficulté à obtenir en pratique le champ magnétique souhaité est également responsable de pertes.

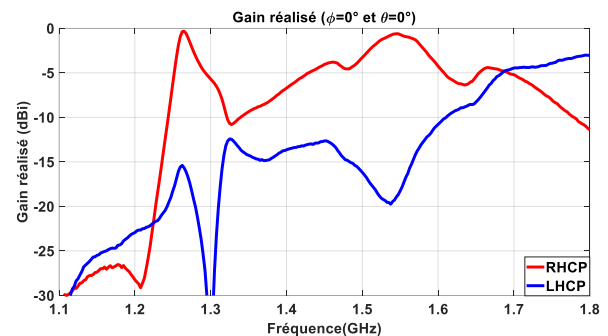


Figure 7. Gain réalisé mesuré de la polarisation circulaire gauche et droite en fonction de la fréquence

$ S_{11} < -10$ dB	TE < 3 dB	Freq. (GHz)	Direct. (dBic)	Gain réal. max. (dBi)	Eff. ray. (%)
0,8 %	100 %	1,265	3,9	-0,2	27
1,8 %	100 %	1,545	5,6	1,16	57

Tableau 2. Résumé des performances mesurées du dispositif d'antenne réalisé

5. Conclusion

Nous avons exploité les potentialités du matériau ferrite afin de réaliser une antenne multibandes, à faible encombrement, rayonnant une **polarisation circulaire droite** sur deux bandes de fréquences avec un seul point d'alimentation. Les co-simulations MS-EM ont été étudiées, l'antenne a été fabriquée et les performances mesurées démontrent un bon TE sur les bandes de fonctionnement du dispositif.

6. Remerciements

Ces travaux sont réalisés dans le cadre du projet ANR ASTRID CONTACT et du laboratoire commun INOGYRO entre la PME Inoveos et le Laboratoire XLIM (<https://inogyro.xlim.fr/>).

7. Références

- [1] J. L. Valdes, et al., "A Polarization Reconfigurable Patch Antenna in the Millimeter-Waves Domain Using Optical Control of Phase Change Materials," *IEEE Open J. Antennas Propag.*, vol. 1, pp. 224-232, 2020.
- [2] E. Arnaud, et al., "Miniaturization of a Circular Polarized Antenna using Ferrite Materials," in *12th European*

Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018), London, UK, 2018, p. 558 (5 pp.)-558 (5 pp.).

- [3] E. Herth, et al., "Circularly Polarized Millimeter-Wave Antenna Using 0-Level Packaging," *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 934–937, 2010.
- [4] E. Aloni et al., "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed by crossed slots," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 8, pp. 1053–1058, Aug. 1994.
- [5] H. Wong, et al., "Virtually Shorted Patch Antenna for Circular Polarization," *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 1213–1216, 2010.
- [6] S. Jemmeli, et al., "Design of a Miniature Circularly Polarized Antenna Operating in Three Frequency Bands Using a Polarized Ferrite Material," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 8, pp. 4304–4312, Aug. 2021.
- [7] R. C. Hansen et al, "Antennas with magneto-dielectrics," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 26, no. 2, p. 4, Jul. 2000.
- [8] D. Polder, "On the theory of ferromagnetic resonance," *Physica*, vol. 15, no. 1–2, pp. 253–255.