



HAL
open science

Utilisation d'un anneau résonnant pré-fractal pour la réduction du diamètre des antennes spirales

Jérémy Valleau, Hervé Aubert, Anthony Bellion, Philippe Pouliguen, Patrick Potier

► **To cite this version:**

Jérémy Valleau, Hervé Aubert, Anthony Bellion, Philippe Pouliguen, Patrick Potier. Utilisation d'un anneau résonnant pré-fractal pour la réduction du diamètre des antennes spirales. Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01240293

HAL Id: hal-01240293

<https://hal.science/hal-01240293>

Submitted on 9 Dec 2015

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.

Utilisation d'un anneau résonant pré-fractal pour la réduction du diamètre des antennes spirales

Jérémy Valteau^{1, 2}, Hervé Aubert^{1, 2}, Anthony Bellion³, Philippe Pouliguen⁴, Patrick Potier⁵

¹ CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

² Univ de Toulouse, INP, LAAS, F-31400 Toulouse, France

³ CNES RF/AN, 18 Avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse, France

⁴ DGA MRIS 92221 Bagneux, France

⁵ DGA MI, BP7, 35998 Rennes ARMEES, France

Résumé

Dans cette communication nous présentons une technique de miniaturisation des antennes spirales d'Archimède à l'aide d'un unique anneau résonant pré-fractal.

1. Introduction

La spirale d'Archimède est une antenne très large bande à polarisation circulaire. Elle est très adaptée pour les applications aéroportées et spatiales, notamment pour les applications de télécommunications très large bande. Cependant pour ce type d'application la taille et le poids des antennes sont critiques. Depuis quinze ans différents travaux ont été menés afin de diminuer l'encombrement de la spirale. Il a été proposé d'utiliser des substrats à haute permittivité [1] ou de modifier la géométrie des bras de la spirale [2]. Plus récemment Q. Liu et al. [3] ont proposé d'entourer la spirale d'Archimède par un anneau résonant. Cette technique permet de diminuer la fréquence basse de fonctionnement de 6% à diamètre constant. D'autres auteurs ont proposé de placer un unique anneau sans motif sous l'antenne [4]. Ceci permet également de réduire la fréquence basse de fonctionnement de l'antenne spirale.

Récemment, les auteurs de cette communication ont montré que l'empilement d'anneaux résonants crénelés et identiques placés sous la surface d'une antenne spirale d'Archimède permet de réduire grandement (35%) la fréquence basse de fonctionnement de la spirale sans détériorer significativement ses performances en rayonnement [5] [6]. Cette fréquence, voisine de la fréquence de résonance fondamentale des anneaux, décroît à mesure que le périmètre de l'anneau déployé croît. Afin d'avoir la fréquence de résonance la plus basse possible, le périmètre déployé (à diamètre d'anneau constant) doit être maximisé. La géométrie qui permet de maximiser la longueur d'une ligne tracée sur une surface donnée est fractale. Nous proposons donc dans cette communication d'utiliser un anneau résonant fractal pour réduire le diamètre des antennes spirales (voir Figure 1 [7]).

2. Anneau pré-fractal pour la réduction du diamètre d'une antenne spirale

Nous utilisons ici un anneau résonant dont le contour est construit par la mise bout à bout de motifs pré-fractals identiques. Ces motifs sont le résultat d'un processus itératif appliqué à un initiateur [7]. A la première itération ou ordre 1 chaque segment de l'initiateur est remplacé par un motif appelé générateur. A l'itération suivante (ordre 2) une version réduite du motif réalisé à l'ordre 1 remplace tous les segments du motif à l'ordre 1; à l'itération suivante (ordre 3) l'ordre 1 est de nouveau réduit et remplace tous les segments du motif à l'ordre 2 ; et ainsi de suite jusqu'à réaliser, à un ordre fini N, un motif dit pré-fractal. Dans cet article nous nous limitons aux trois premiers ordres (N=3) et aux motifs dits de Von Koch, de Hilbert ou de Peano (cf. Tableau 1).

Le motif dit de Von Koch Modifié (VKM) est également considéré ici. Ce motif a été proposé pour la première fois dans [8] pour la réduction de la hauteur des antennes à hélices. Il combine un motif de Von Koch et des demi-périodes de sinusoides. Le Tableau 2 donne une représentation de ce motif aux 3 premiers ordres.

Plusieurs versions identiques des motifs élémentaires présentés dans les tableaux 1 et 2 sont mises bout à bout afin de réaliser un anneau pré-fractal. Le nombre de motifs élémentaires utilisés pour réaliser l'anneau (ici compris entre 10 et 100) et l'ordre N du motif pré-fractal permettent d'ajuster le périmètre de l'anneau déployé L et donc la fréquence de résonance fondamentale frés de cet anneau. Afin de limiter les temps de

calcul dans le cas des motifs VKM, des anneaux filaires (et non micro-rubans) ont été considérés dans les simulations électromagnétiques des anneaux VKM. Afin d'évaluer les performances de ce motif, les anneaux sont comparés aux anneaux filaires à motif de VK.

La Surface Equivalente Radar (SER) de l'anneau pré-fractal est alors calculée. Comme attendue la SER passe par un maximum à la fréquence de résonance frés de l'anneau. Sur les figures 2 et 3 cette fréquence est donnée pour différents anneaux pré-fractals micro-rubans (figure 2) et filaires (figure 3). Elle est tracée en fonction du périmètre des anneaux déployés normalisé par le périmètre L0 de l'anneau sans motif. Pour un motif donné, frés est encadrée par la fréquence de résonance associée au périmètre à 10 itérations du motif élémentaire et par celle associée au périmètre pour 100 itérations du motif élémentaire.

Pour tous les motifs étudiés en figures 2 et 3, la diminution de frés en fonction du périmètre suit une loi de puissance en $1/\alpha$. L'exposant α dépend de la géométrie du motif fractal et de l'ordre. En figure 2, la décroissance de frés en fonction du périmètre déployé est continue d'un ordre à l'autre pour les fractales de VK et d'Hilbert. C'est-à-dire que le dernier point de la courbe à l'ordre N correspond au premier point de la courbe à l'ordre N+1. Ce résultat s'applique également au motif de Peano pour des anneaux avec un nombre de motifs élémentaires plus importants. La courbe de Peano à l'ordre 3 est la seule qui est croissante en fonction du périmètre déployé.

Il existe donc un périmètre au-delà duquel la fréquence de résonance frés ne décroît plus. Ce périmètre « seuil » est estimé à 4 fois celui d'un anneau sans motif L0. Il est alors théoriquement possible de diminuer de 50% la fréquence de résonance d'un anneau sans motif.

Cette réduction de la fréquence de résonance ne peut être directement reliée à la réduction de la fréquence basse de fonctionnement de la spirale. En effet les phénomènes de couplage entre la spirale et l'anneau ne sont pas pris en compte à cette étape de l'analyse. Ces couplages ont un impact direct sur la fréquence basse de fonctionnement de l'antenne.

Sur la figure 2, le motif de VKM à l'ordre 1 est le seul motif d'ordre 1 ayant des périmètres déployés proches des périmètres associés aux motifs de VK et de Hilbert d'ordre 2. Par conséquent il s'agit du seul motif d'ordre 1 à atteindre des fréquences de résonance plus basses que les autres motifs d'ordre 1. Le même constat peut être réalisé pour motif de VKM à l'ordre 2 représenté sur la figure 3.

Le choix du motif le plus adapté à la miniaturisation d'antenne spirale s'effectue en appliquant la méthodologie de conception suivante :

- La fréquence basse de fonctionnement de la spirale est choisie ;
- Cette fréquence est prise comme fréquence de résonance fondamentale d'un anneau pré-fractal. Cet anneau doit présenter un ordre et un nombre de motifs élémentaires les plus petits possibles. Le choix un motif respectant ce critère facilite la réalisation technologique de l'anneau et minimise l'utilisation des ressources informatiques lors des phases de simulation/optimisation.

Dans notre étude, la fréquence basse de fonctionnement de la spirale est de 1,15GHz. Il faut donc choisir un motif dont les fréquences de résonance sont comprises entre 1GHz et 1,15 GHz.

A l'aide de la Figure 2 et du critère que nous venons de définir, nous pouvons dire que le motif de VKM à l'ordre 1 est le plus efficace pour la miniaturisation de l'antenne spirale sur cette bande de fréquence.

3. Mesures de l'antenne avec l'anneau résonant à motif pré-fractal de VKM

Pour évaluer l'effet miniaturisant de l'anneau résonnant à motif de VKM par rapport au motif créneau trois prototypes sont réalisés et mesurés :

- (1) une antenne spirale seule
- (2) une antenne spirale chargée par un anneau crénelé
- (3) une antenne chargée par un anneau pré-fractal à motif VKM.

Les antennes mesurées intègrent une spirale de 8cm de diamètre alimentée par un balun. La spirale et le balun sont imprimés sur un substrat Nelco NX9240 (épaisseur : 1.5mm, permittivité relative : 2,4 et tangente de perte diélectrique : 0.0016). Les anneaux (crénelés ou pré-fractals) sont placés à 6mm en dessous de la spirale. Cette distance est réalisée à l'aide de 5 couches de Rohacell HF51, d'épaisseur de 1,2mm, de permittivité relative de 1,04 et d'angle de pertes de 0.0006.

Les anneaux sont réalisés à partir de 10 répétitions du motif choisi (voir figures 1 et 4). Ils sont imprimés sur un substrat souple, d'une épaisseur de 254µm, de permittivité relative de 3,1 et d'angle de pertes de 0.006.

La Figure 5 représente le coefficient de réflexion mesuré en entrée de la spirale seule, de la spirale chargée par un anneau crénelé et de la spirale chargée par un anneau à motif pré-fractal de VKM.

L'anneau à motif de VKM permet de diminuer la fréquence basse de fonctionnement de la spirale de 9% contre seulement de 7% lorsqu'un anneau crénelé est utilisé. Le périmètre déployé d'un anneau à 10 répétitions du motif de VKM au premier ordre est 1,3 fois plus grand que celui d'un anneau avec 10 créneaux. La fréquence de résonance du premier est donc plus basse que celle du deuxième. Le résultat présenté est donc cohérent avec ce qui était attendu.

La Figure 6 montre que cette diminution s'effectue sans dégradation notable du diagramme de rayonnement de la spirale. Les diagrammes sont identiques pour toutes les fréquences présentées exceptée pour la fréquence basse de fonctionnement (1,05 GHz pour la spirale avec anneau à motif VKM et 1,15GHz pour la spirale seule). En effet le gain de la spirale, avec l'anneau à motif de VKM, est moins élevé que la spirale dans le demi-espace inférieur. Cette différence est due à un effet réflecteur de l'anneau sur le champ rayonné [9] [10].

La Figure 7 représente le gain total (mesuré) des antennes en fonction de la fréquence dans la direction principal de rayonnement $\theta=0^\circ$. Il est compris entre 3 et 6 dBi sur la bande passante de l'antenne. Le gain est donc proche de celui d'une antenne spirale d'Archimède. La Figure 7 montre aussi que pour un gain de 2dBi la fréquence associée à ce gain pour l'antenne avec l'anneau de MVK est 6% plus basse que celle de l'antenne spirale seule. Grâce à l'effet réflecteur [4] de l'anneau, l'antenne avec l'anneau à motif de VKM rayonne plus bas en fréquence que l'antenne spirale seule.

La Figure 8 nous montre que la miniaturisation se fait avec une conservation voire une amélioration de la pureté de polarisation. En effet, le taux d'ellipticité de la spirale avec anneau de VKM est inférieur à la spirale seule, au début de la bande étudiée [1,2 GHz ; 2 GHz] et à la fin [5GHz ; 6GHz] (La différence de 2dB au milieu de bande [3,4GHz ; 4,6GHz] est très probablement due à la mauvaise qualité du montage de l'ensemble spirale/balun).

4. Conclusion

Cette étude a montré qu'une antenne spirale chargée par un seul anneau pré-fractal pouvait présenter une fréquence basse de fonctionnement significativement plus faible (9%) que celle de la spirale seule. L'empilement de ces anneaux devrait réduire davantage cette fréquence. Autrement dit, à bande de fréquence de fonctionnement et à diagramme de rayonnement donné, une antenne spirale chargée par plusieurs anneaux pré-fractals pourrait présenter un diamètre bien plus faible que celui d'une antenne spirale seule.

5. Remerciements

Nous tenons à remercier le CNES ainsi que la DGA pour leur soutien financier. Nous remercions également l'équipe de la base de mesure du service Antenne du CNES pour les mesures.

6. Bibliographie

- [1] B. A. Kramer, M. Lee, C. C. Chen, and J. L. Volakis, "Design and performance of an ultrawide-band ceramic-loaded slot spiral," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 7, pp. 2193–2199, Jul. 2005
- [2] H. Nakano, "A meander spiral antenna," in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, Jun. 2004, vol. 3, pp. 2243–2246
- [3] Liu's, Qing, et al. "A novel compact archimedean spiral antenna with gap-loading." *Progress in Electromagnetics Research Letters* 3 (2008): 169-177.
- [4] O. Ripoche, H. Aubert, A. Bellion, P. Pouliguen, P. Potier, "Spiral antenna miniaturization in very high frequency band", *Antenna Technology and Applied Electromagnetics (Antem)*, 25-28 june 2012.
- [5] O. Ripoche, H. Aubert, A. Bellion, P. Pouliguen, P. Potier, *Antenne Large Bande et Procédé d'Augmentation de la Bande Passante d'une Antenne Spirale*, Patent Pending No FR1200413, 14 février, 2012

- [6] Kashyap, N.; Dinesh, K.V., "Miniaturized planner spiral antenna with stacked ring," Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2014 Loughborough , vol., no., pp.465,468, 10-11 Nov. 2014
- [7] J. Valleau, H. Aubert, O. Ripoche, A. Bellion, P. Potier, P. Pouliguen, "Pre-fractal Resonant Rings for Compact Spiral Antennas", Antenna Technology
- [8] A. Takacs, H.Aubert, D.Belot, H.Diez, "Miniaturization of Quadrifilar Helical Antennas for Space Applications," 15th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), 2012.
- [9] O. Ripoche, H. Aubert, A. Bellion, P. Pouliguen, P. Potier, Procédé de Réflexion du Champ Rayonné par une Antenne Spirale, Patent Pending, réf. CNES : Bex 1306 (France), 05 novembre 2013
- [10] Misran, N.; Cahill, R.; Fusco, V.F., "Design optimisation of ring elements for broadband reflectarray antennas," Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings , vol.150, no.6, pp.440,444, Dec 2003



Figure 1: Anneau pré-fractal (gauche) et anneau pré-fractal placé sous une antenne spirale et entourant le balun (droite).

	Von Koch (VK)	Hilbert (IH)	Peano (IP)
Ordre 1			
Ordre 2			
Ordre 3			

Tableau 1 : Motifs pré-fractals micro-rubans développés aux 3 premiers ordres (ou aux trois premières itérations)

	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3
Von Koch (VK)			
Von Koch Modifié (VKM)			

Tableau 2 : motifs pré-fractals filaires dits de *Von Koch* (VK) et de *Von-Koch Modifié* (VKM) aux 3 premiers ordres (ou aux trois premières itérations)

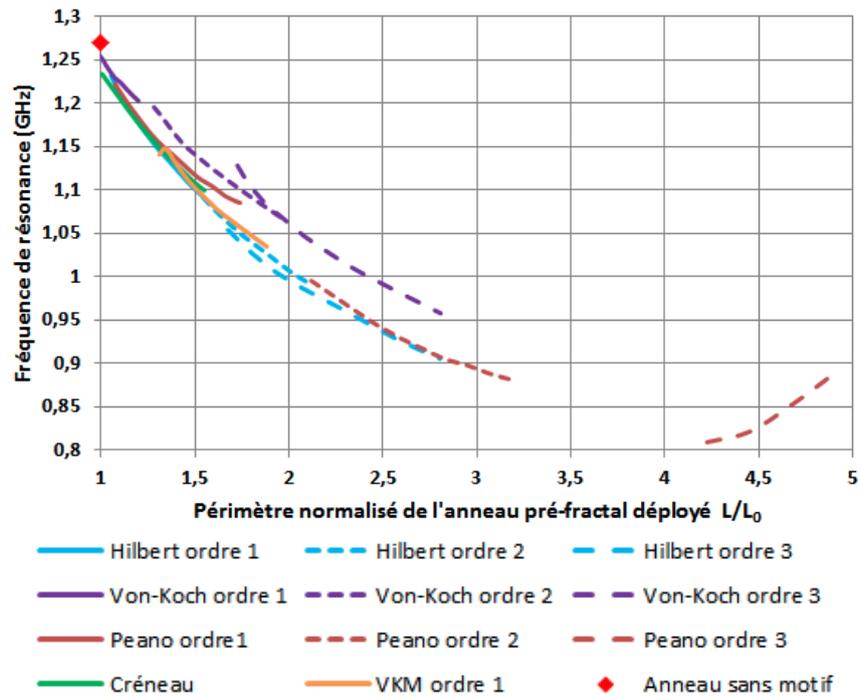


Figure 2: Fréquence de résonance (GHz) en fonction du périmètre normalisé L/L_0 d'anneaux pré-fractals micro-rubans déployés

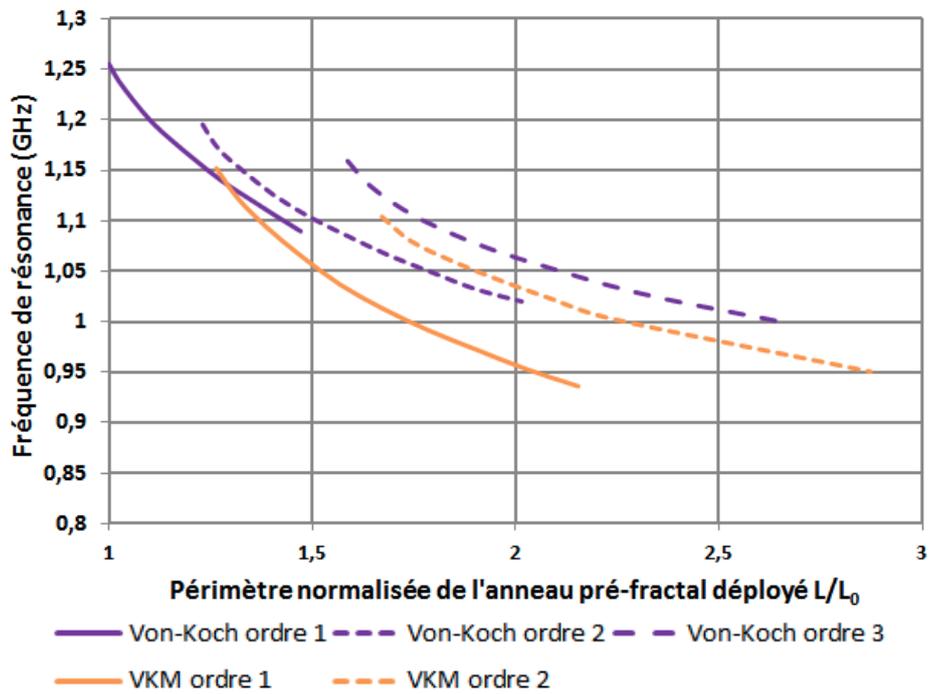


Figure 3: Fréquence de résonance (GHz) en fonction du périmètre normalisé L/L_0 d'anneaux pré-fractals filaires déployés

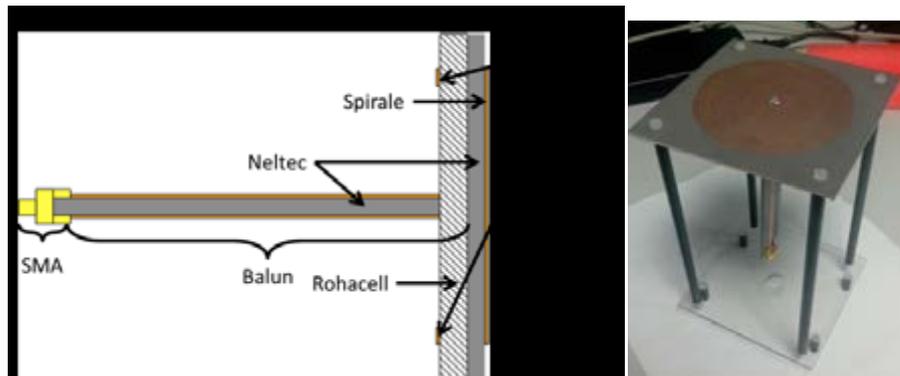


Figure 4: Schéma des prototypes avec anneau (gauche) et photo de la spirale alimentée par son balun (droite)

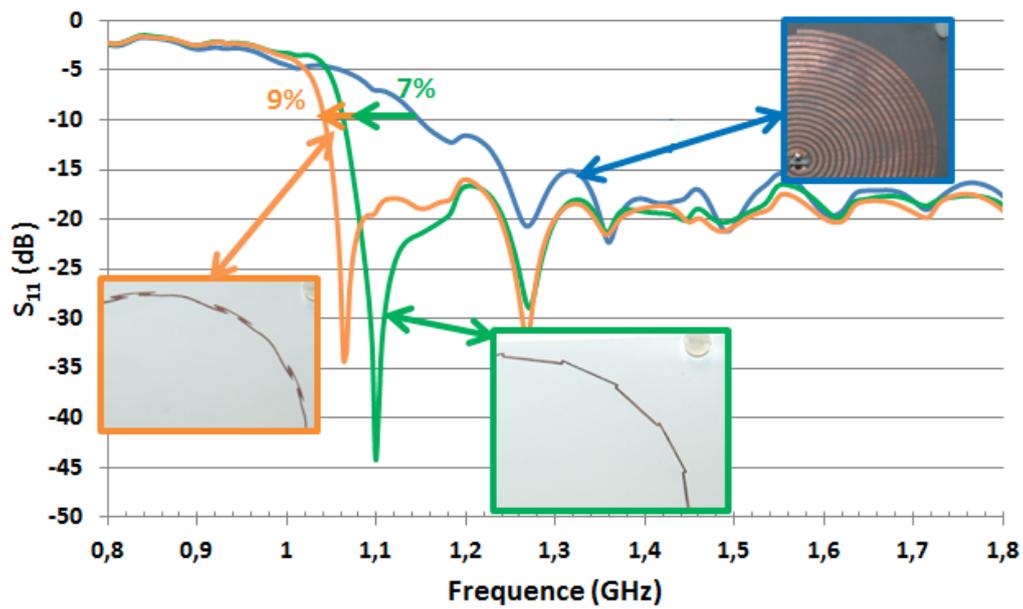
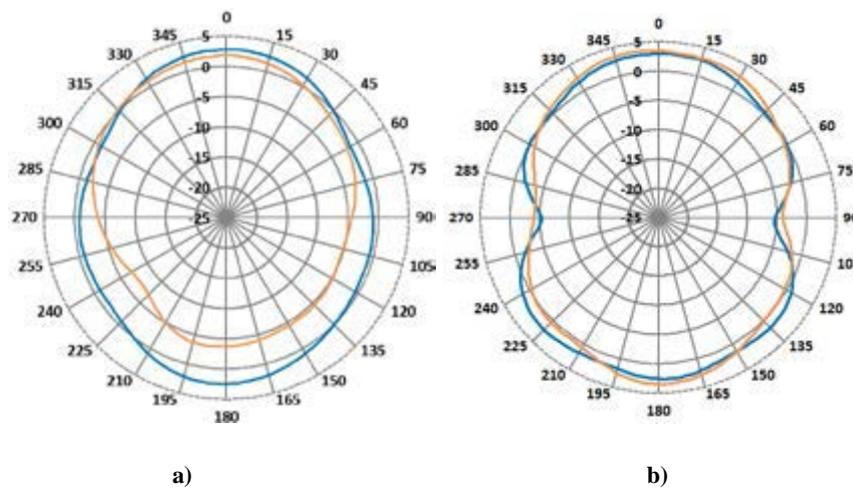


Figure 5: Coefficient de réflexion mesuré en entrée de la spirale seule (bleu), de la spirale chargée par un anneau crénelé (vert) [1] et de la spirale chargée par un anneau à motif pré-fractal de VKM (orange)



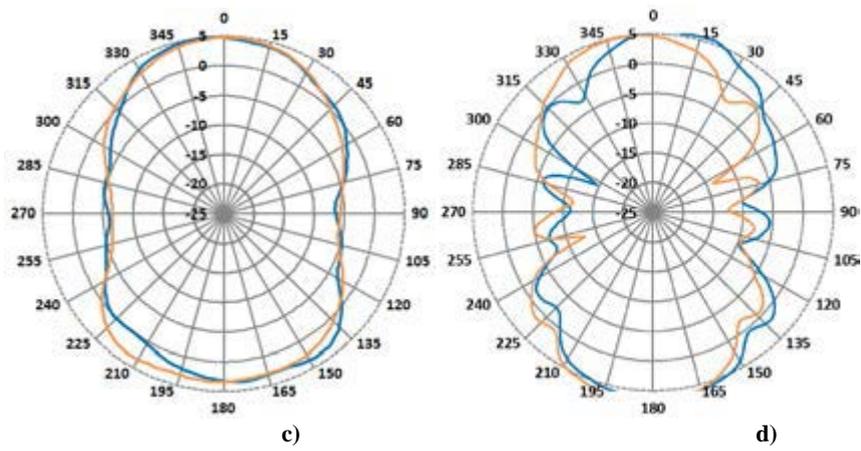


Figure 6: Diagrammes de rayonnement mesuré de l'antenne spirale (bleu) et de l'antenne chargée par l'anneau pré-fractal VKM (orange) dans le plan $\phi=0$ à : a) la fréquence basse de fonctionnement, b) 1.8 GHz , c) 3GHz et d) 6GHz.

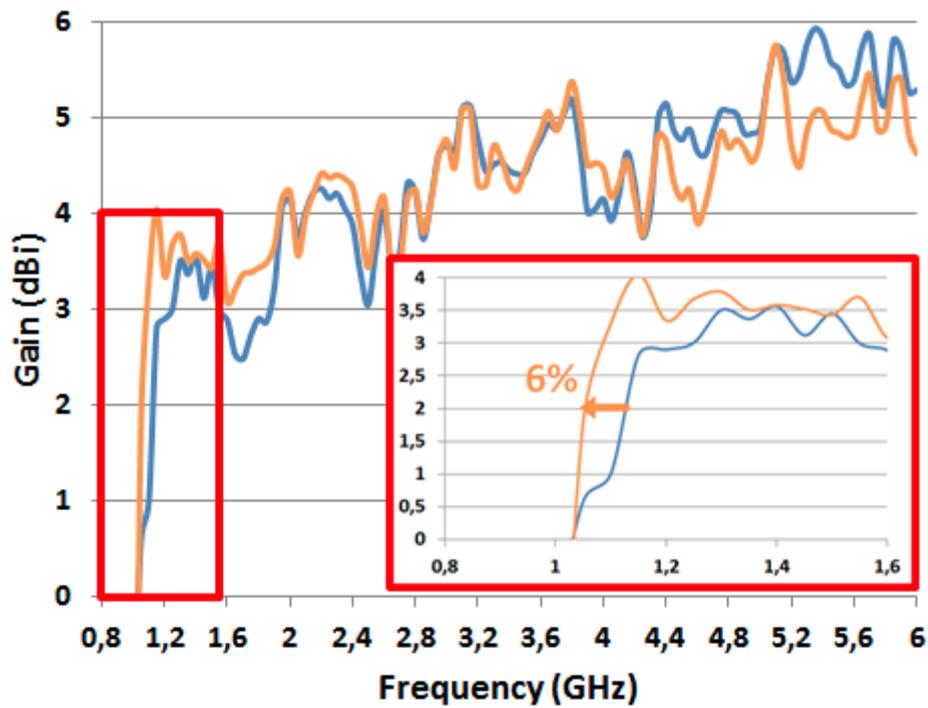


Figure 7: Gain total mesuré dans la direction $\theta=0^\circ$ en fonction de la fréquence de la spirale seule (bleue) et de la spirale avec anneau de VKM (orange)

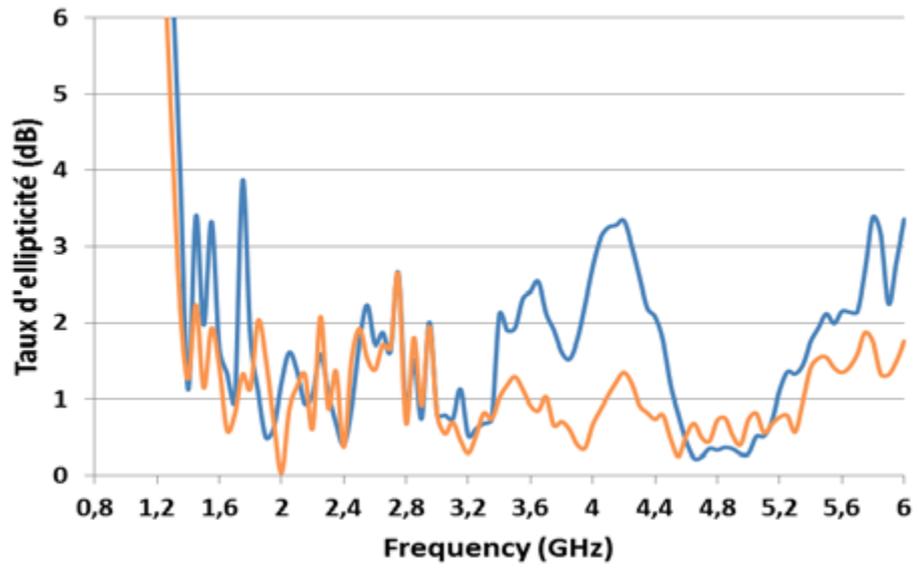


Figure 8: Taux d'ellipticité mesuré dans la direction $\theta=0^\circ$ en fonction de la fréquence de la spirale seule (bleue) et de la spirale avec un anneau à motif pré-fractals VKM (orange)