



HAL
open science

Prototype d'une antenne patch à cavité en croix à polarisation croisée pour la récupération d'énergie dans la bande ISM à 2,45 GHz

Edouard Rochefeuille, Alexandre Douyère, Frédéric Alicalapa, E. Vandelle,
T-P Vuong

► To cite this version:

Edouard Rochefeuille, Alexandre Douyère, Frédéric Alicalapa, E. Vandelle, T-P Vuong. Prototype d'une antenne patch à cavité en croix à polarisation croisée pour la récupération d'énergie dans la bande ISM à 2,45 GHz. Journée Nationales Microondes 2019, May 2019, Caen, France. hal-02177902

HAL Id: hal-02177902

<https://hal.science/hal-02177902>

Submitted on 9 Jul 2019

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.

Prototype d'une antenne patch à cavité en croix à polarisation croisée pour la récupération d'énergie dans la bande ISM à 2,45 GHz

E. Rochefeuille^{1,2}, A. Douyère¹, F. Alicalapa¹, E. Vandelle², T-P. Vuong²

¹ LE2P, Université de la Réunion, 15 Avenue René Cassin, CS92003, Saint-Denis Cedex 9, Réunion

² IMEP-LAHC, Grenoble INP, 3 Parvis Louis Néel, CS50257, 38016 Grenoble Cedex 1, France
edouard.rochefeuille@univ-reunion.fr

Résumé – Ce résumé présente la réalisation d'un prototype d'antenne patch à cavité en croix à polarisation croisée pour des applications de récupération d'énergie RF. L'antenne est composée d'un motif carré dont une cavité est creusée au centre en forme de croix comprenant ainsi la couche de cuivre et le substrat. La forme de croix ainsi que l'unique ligne d'alimentation positionnée dans un angle du motif permettent d'obtenir la polarisation croisée à la fréquence de 2,45 GHz. Deux substrats sont utilisés : le Rogers 5880, pour des mesures en standalone et le FR4 pour comparer les performances de l'antenne en croix associée à un redresseur RF/DC avec une antenne patch rectangulaire standard. Les résultats montrent un gain à 48,7% en plus sur la tension redressée par l'antenne à cavité en croix à une charge de 6 k Ω .

1. Introduction

Le monde des objets connectés croît de manière exponentielle. La demande pour ces objets explose au travers de différentes applications commerciales, industrielles ou scientifiques. Cependant, tous ces objets nécessitent d'être alimentés. Pour la plupart d'entre eux, il s'agit d'appareils fonctionnant à faible énergie. Pour faciliter l'entretien, la maintenance et la dépendance énergétique de tous ces appareils, il convient de trouver des solutions afin de les rendre autonomes en termes d'alimentation énergétique. La récupération d'énergie et principalement de l'énergie radiofréquence (RF) est un moyen d'y parvenir car le monde actuel surtout urbain, est abondamment pollué par les ondes. C'est pourquoi, depuis plusieurs années déjà, les scientifiques utilisent la récupération d'énergie pour alimenter des systèmes. Toutefois, cela ne peut marcher sans l'antenne, un élément capable de capter ces ondes et de les transformer en signal électrique. Les antennes réalisées sont spécifiques aux applications, ou originales afin de garantir les meilleures performances possibles [1]. La polarisation croisée permet de réduire principalement les interférences d'ondes d'un dispositif de communication et augmenter les performances globales de l'antenne [2]. Il n'existe pas beaucoup de travaux portant sur les antennes patch à polarisation croisée dans la littérature. [3] montre une antenne à polarisation croisée avec deux ports d'alimentations comme on peut le retrouver dans certaines antennes à double polarisations [4]. Dans cette étude, nous réalisons la polarisation croisée par une ligne unique d'alimentation en ligne microstrip tout en gardant les avantages de la polarisation croisée. La section 2 présente le prototype d'antenne patch à cavité en croix réalisée en

Rogers 5880. La section 3 présente les résultats obtenus avec le prototype réalisé en Rogers 5880. La section 4 présente un nouveau prototype en FR4 associé à un redresseur RF/DC et comparé à une antenne patch rectangulaire.

2. Design du prototype en Rogers 5880

Le prototype d'antenne a été conçu avec le logiciel CST Microwave. La Figure 2 montre le prototype d'antenne réalisé. La forme de l'antenne est similaire à une antenne patch standard mais un motif en forme de croix est rajouté au centre du patch. La croix centrale est creusée dans la couche de cuivre et le substrat. Son épaisseur est de 1.610 mm incluant la couche de cuivre de 35 μm et l'épaisseur du substrat de 1.575 mm. Dans [3], la cavité en forme de croix est uniquement creusée dans la couche de cuivre supérieure et vise à réduire la taille de l'antenne. Le design proposé est légèrement plus grand en termes de dimension du patch de cuivre que [3] mais requière moins de surface rayonnante. Le prototype présenté ici est réalisé en Rogers 5880. Ce substrat est choisi pour sa permittivité relative (ϵ_r) particulièrement basse de 2,2 et un coefficient de perte de 0,0009. La cavité en croix est creusée dans le substrat et refermée à l'arrière par une fine couche de cuivre et de la colle conductrice (grise), comme montré sur la Figure 1.

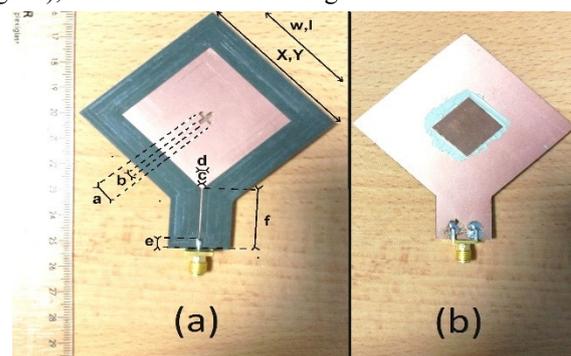


Figure 1. Photographie du prototype. (a) vue avant, (b) vue arrière avec la fine couche de cuivre collée refermant la cavité. $W=L=39,4$ mm ; $X=Y=60$ mm ; $a=6$ mm ; $b=1,6$ mm ; $c=0,5$ mm ; $d=4$ mm ; $e=4,8$ mm ; $f=22$ mm

L'antenne proposée nécessite une ligne d'alimentation unique positionnée dans un coin du patch. Cette position particulière à 45° ainsi que la cavité centrale permettent d'obtenir la polarisation croisée. L'idée de l'alimentation positionnée au coin vient de [5], où l'auteur met en

évidence l'impact du positionnement de la ligne d'alimentation sur la fréquence de l'antenne sans utiliser de circuit d'adaptation complexe. La ligne d'alimentation est une ligne microstrip standard de 0,5 mm de largeur avec une adaptation d'impédance à 50Ω réalisée par un morceau de ligne de 4 mm de largeur. Ce morceau de ligne permet aussi de réduire l'effet critique causé par la ligne d'alimentation de 0,5 mm de largeur et 18 mm de longueur sur l'impédance et la fréquence désirée. Les équations basiques de l'antenne patch ont été utilisées pour approcher les valeurs de largeur et longueur du patch. Par la suite, les simulations ont montré que pour obtenir un gain de valeur proche dans chaque composante co-pol et cross-pol, la largeur et longueur du patch ainsi que les dimensions des deux slots de la croix centrale doivent aussi être égales. La ligne d'alimentation sépare l'antenne en deux parties symétriques. Ces deux parties donneront les diagrammes de rayonnement pour les plans E et H. En effet, les lignes de courant suivent la ligne d'alimentation et viennent contourner la croix centrale. L'orientation de la croix définit les plans Co-pol et Cross-pol soit à $\varphi=45^\circ$ et -45° .

3. Résultats du prototype seul en Rogers 5880

Le coefficient S11 de réflexion à 2,45 GHz obtenu en mesure est comparé à celui obtenu en simulation sur la Figure 3.

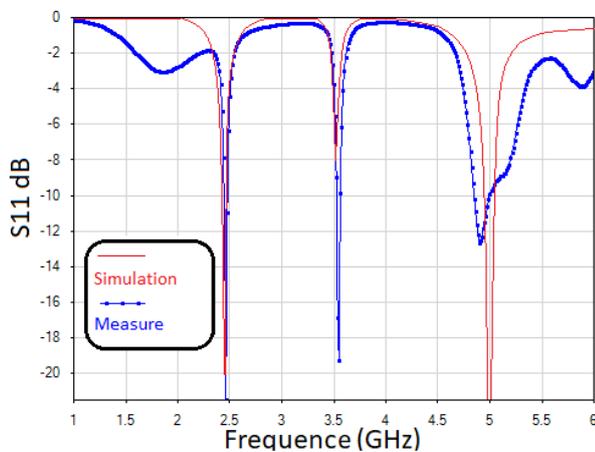


Figure 3. Coefficient de réflexion simulé et mesuré

La bande passante à -10 dB à 2,45 GHz est très sélective, ce qui donne un fort facteur de qualité de 72. On notera aussi que d'autres résonances sont présentes à 3,56 GHz et 5 GHz. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 1. Le Figure 4 montre les diagrammes de rayonnement simulés et mesurés pour le plan E en co-polarisation et cross-polarisation.

Les gains obtenus dans chaque composantes co-pol et cross-pol sont supérieurs à 3 dBi. Ces valeurs ainsi que la forme des diagrammes de rayonnement obtenus sont très proches des simulations. Les mesures ont été effectuées dans une chambre anéchoïque de 125m³ en utilisant une antenne cornet d'émission avec un gain de 10 dB. Une seconde antenne cornet identique est utilisée pour le calibrage du VNA faisant la mesure, montrée sur la Figure

5. La distance séparant le prototype et l'antenne d'émission est de 3 mètres.

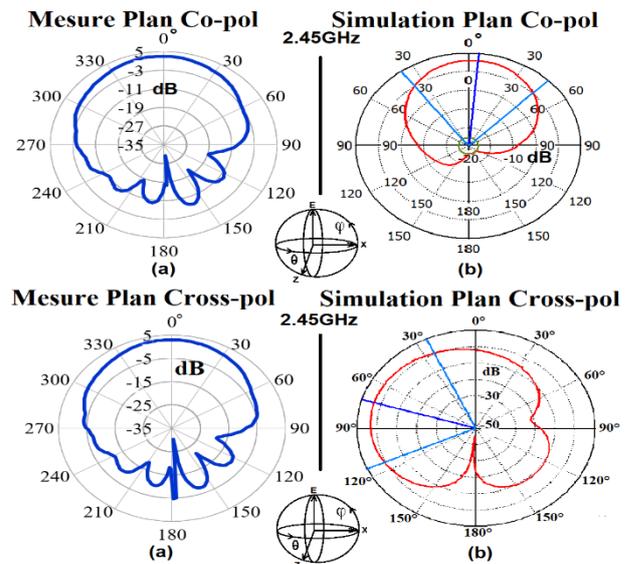


Figure 4. Diagrammes de rayonnement mesurés (a) et simulés (b) du Plan E en co et cross-polarisations



Figure 5. Chambre anéchoïque utilisée pour la mesure de gain du prototype

Les formes des lobes secondaires observées sur la Figure 4 en mesure diffèrent de celles simulées. Cette différence peut s'expliquer par la présence de parties métalliques dans la chambre anéchoïque telles que les moteurs de rotation des supports. En effet, lorsque le mat de réception avec l'antenne sous test est orienté à 90° , le moteur métallique fait pleinement face à l'antenne d'émission. Le Tableau 1 présente les valeurs détaillées des coefficients de réflexion et des gains obtenus pour l'antenne prototype dans chaque plan E et H.

Le Tableau 1 montre bien que l'antenne proposée possède une polarisation croisée avec un gain dans chaque composante des plans E et H.

	FR4 Rectangu	FR4 Croix	Ro5880 Croix
Epaisseur (mm)	1,57	1,57	1,57
Er	4,3	4,3	2,2
S11 (dB)	-16	-10,5	-26,8
Gain Abs (dBi)	NA	<3	5,645
BW (Hz)		64M	34M
W_total (mm)	>45	40	60
L_tatal (mm)	>55	40	60
W_copper (mm)	37,6	28,3	39,4
L_copper (mm)	29,1	28,3	39,4

Tableau 1. Valeurs détaillées des mesures et simulations.

4. Réalisation d'un prototype en FR4, association à un redresseur et comparaison des performances

Cette section présente un nouveau prototype de l'antenne à cavité en croix réalisé en FR4 avec une permittivité relative ϵ_r de 4,3 et une épaisseur de 1,57 mm. Afin de démontrer les performances du prototype pour la récupération d'énergie, celui-ci est associé à un redresseur [6] et comparé à une antenne patch rectangulaire. La fréquence de fonctionnement est de 2,45 GHz. Le redresseur utilisé est le même pour les deux antennes. Il est aussi réalisé en FR4 et est composé d'un circuit d'adaptation d'impédance, d'une diode SMS7630 et d'un filtre d'harmonique en ligne micro-ruban. Les tensions de sortie obtenues du redresseur selon l'antenne utilisée sont alors comparées. La Figure 6 montre une photo des redresseurs.

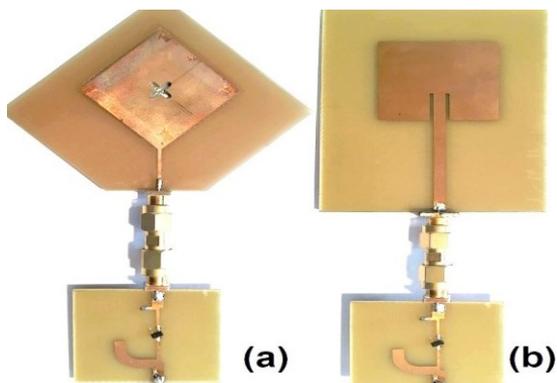


Figure 6. Photographie des rectennas : (a) Avec patch à cavité en croix ; (b) avec patch rectangulaire

Les tensions de sortie DC des redresseurs sont mesurées à la fréquence de 2,45 GHz pour une puissance d'entrée de 25 dBm fournie par une antenne papillon polarisée linéairement à 2 mètres de distance. Le banc de mesure est montré sur la Figure 7.



Figure 7. Banc de mesure pour l'association du prototype au redresseur

A titre comparatif, le prototype réalisé en Rogers 5880 est aussi associé au redresseur en FR4 afin de mesurer ses performances face aux deux circuits de la Figure 6. La Figure 8 montre les tensions de sortie obtenues pour chaque rectenna.

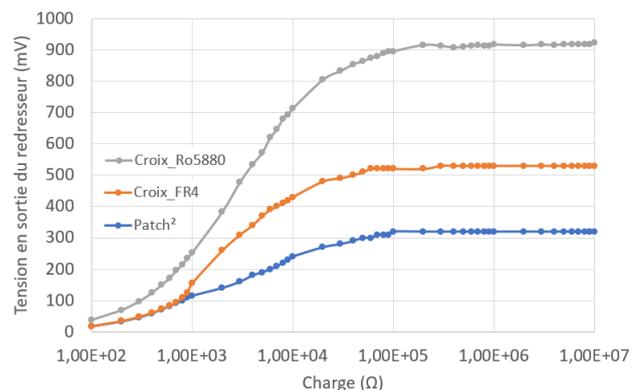


Figure 8. Tensions de sortie des rectennas selon la charge

La Figure 8 montre une amélioration maximale de 48,7% de la tension de sortie pour une charge de 6 kΩ pour la rectenna avec l'antenne à cavité en croix. Nous observons aussi un gain moyen de 41,8% en tension sur la plage de charge testée de 1kΩ à 10MΩ. Ces performances s'expliquent par l'utilisation de la cavité en forme de croix qui permet d'augmenter le gain tout en réduisant la taille de l'antenne. Cette amélioration du gain se démontre en réalisant/simulant une antenne patch avec un slot creusé dans le cuivre uniquement. En comparant les résultats on remarque que pour la même structure et même fréquence le fait de creuser le substrat augmente aussi le gain de l'antenne. L'utilisation du substrat Rogers 5880 permet d'accroître encore plus ces performances en tension redressée de 37% supplémentaires à 6 kΩ et de 40% supplémentaires sur la plage 1 kΩ à 10 MΩ comparé au substrat FR4. Ces performances s'expliquent par la permittivité relative basse du Rogers 5880. Les bases présentes dans [7] montrent que des permittivités plus

faibles favorisent de meilleurs gains. Les résultats de la comparaison sont montrés dans le Tableau 2.

Resultats (dB)	2,45 GHz	
	Simulations	Mesures
S11	-20.2	-26.8
Gain Abs	6.27	5.56
E-co-pol	3.07	3.07
E-cross-pol	3.42	3.53
H-co-pol	3.33	2.93
H-cross-pol	2.98	1.81

Tableau 2. Résumé des caractéristiques et performances des antennes réalisées

Le Tableau 2 montre que l'emploi de la croix à cavité permet de réduire la taille de l'antenne FR4 de 26% comparé au patch rectangulaire.

5. Conclusion

Ce résumé présente des prototypes d'antennes patch à cavités en croix à polarisation croisées à 2,45 GHz en substrat Rogers 5880 et FR4. Les résultats du prototype sont proches des simulations. L'antenne à cavité en croix en FR4 permet d'obtenir jusqu'à 48,7% de tension supplémentaire à la sortie d'un redresseur RF/DC comparé à une antenne patch rectangulaire standard. De plus, l'utilisation d'un substrat à ϵ_r plus faible permet d'accroître les performances tel que le gain.

6. Remerciements

Nous remercions les conseils Régionaux de l'Ile de la Réunion et Auvergne-Rhône-Alpes et L'Union Européenne – Fond de développement Européen (FEDER) PO 2014-2020 pour leur support financier sur ce travail.

Références

- [1] E. Vandelle *et al.*, "High gain isotropic rectenna," *2017 IEEE WPTC*, Taipei, pp. 1-4.
- [2] S. Berry, "The benefits of using cross-polarized antenna", <https://itm-components.co.uk/>, Antennas, Wifi, 2016.
- [3] Li *et al.*, "A wideband patch antenna with cross-polarization suppression," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 3, pp. 211-214, 2004.
- [4] Y. Gou *et al.*, "A Compact Dual- Polarized Double E-Shaped Patch Antenna with High Isolation," in *IEEE TAP*, vol. 61, no. 8, pp. 4349-4353, Aug. 2013.
- [5] C. Song *et al.*, "A novel compact and frequency-tunable rectenna for wireless energy harvesting," *2017 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*, Taipei, 2017, pp. 1-3.
- [6] A. Douyère *et al.*, "Etude du couplage et analyse des performances d'une rectenna PIFA à faibles niveaux

de puissance," *2017 AG GDR Ondes*, Sophia Antipolis, Oct 2017.

- [7] D. H. Schaubert *et al.*, "Effect of microstrip antenna substrate thickness and permittivity: comparison of theories with experiment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 37, no. 6, pp. 677-682, Jun 1989.