



**HAL**  
open science

# Conception et caractérisation d'une antenne reconfigurable réalisée par impression d'encre sur papier pour des applications 4G et 5G

Thi-Hong-Le Dam, Victor Thenot, Gaël Depres, Thierry Lacrevez, Gregory Houzet, Tan-Phu Vuong, Pascal Xavier, B. Fléchet

## ► To cite this version:

Thi-Hong-Le Dam, Victor Thenot, Gaël Depres, Thierry Lacrevez, Gregory Houzet, et al.. Conception et caractérisation d'une antenne reconfigurable réalisée par impression d'encre sur papier pour des applications 4G et 5G. 17èmes Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux (JCMM 2023), Apr 2023, Tours, France. hal-04063076

**HAL Id: hal-04063076**

**<https://hal.science/hal-04063076>**

Submitted on 11 Apr 2023

**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.

## Conception et caractérisation d'une antenne reconfigurable réalisée par impression d'encre sur papier pour des applications 4G et 5G

T. H. Le Dam<sup>1</sup>, Victor Thenot<sup>2</sup>, Gael Depres<sup>2</sup>, Thierry Lacrevaz<sup>1</sup>, Gregory Houzet<sup>1</sup>, T. Phu Vuong<sup>1</sup>, Pascal Xavier<sup>1</sup>, Bernard Fléchet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IMEP-LAHC, Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont-Blanc, Grenoble INP, CNRS, France

<sup>2</sup>Arjowiggins, Voiron, France

damthihongle@gmail.com

**Résumé** — Nous présentons la conception et la caractérisation d'une antenne de type « patch » réalisée par impression d'encre sur un film en papier. D'autre part l'état de polarisation d'une diode PIN agissant sur les dimensions utiles du patch rayonnant permet de sélectionner la bande de fréquence d'émission de l'antenne, autour de 2,4 GHz ou autour de 3,6 GHz. Une étape importante dans la conception de l'antenne a été d'extraire en fréquence la valeur de la permittivité du substrat papier. Ces résultats de caractérisation sont présentés et ils sont complétés par les caractéristiques de rayonnement de l'antenne.

### I. INTRODUCTION

Les développements permanents des réseaux de transmission sans fil, en téléphonie, pour l'internet des objets (IoT) et jusqu'aux liaisons satellites nécessitent souvent des systèmes antennaires compacts et pouvant commuter sur différentes bandes de fréquences. Ce besoin est bien connu en téléphonie mobile avec l'utilisation de bandes spécifiques aux réseaux 4G et 5G sur un même système. Ce besoin concerne aussi les liaisons WiMAX et Bluetooth. Dans ce cadre les travaux de [1,2] ont montré la faisabilité d'antennes reconfigurables multi-bandes.

D'autres évolutions apparaissent, en particulier le développement de systèmes électroniques plus respectueux de l'environnement. Des travaux sont menés sur des techniques de fabrication de circuits moins consommatrices d'énergie ou utilisant moins de matériaux issus de dérivés pétroliers, comme des substrats incluant des fibres de verre avec des résines végétales ou ceux à base de cellulose [3].

Dans ce cadre nous avons développé des antennes reconfigurables fonctionnant dans les bandes spécifiques de la 4G (~ 2,4 GHz) et de la 5G (~ 3,6 GHz). Ces antennes sont de type « patch ». La commutation entre les bandes de fréquence est assurée par une diode PIN, fonctionnant sur ses états passant ou bloqué (ON – OFF) qui font varier la surface utile du pavé rayonnant. Ces antennes sont réalisées sur un substrat de papier et les métallisations, à base d'encres conductrices à l'argent, sont déposées par impression [4].

Les substrats papiers présentent les avantages d'une fabrication aisée et a priori d'un impact écologique plus réduit que les substrats à base de polymères ou de résines utilisant des ressources fossiles. Ils ont aussi des propriétés de flexibilité et de légèreté intéressantes. Enfin leurs caractéristiques électriques (permittivité et tangente de pertes) sont adaptées à la conception de composants fonctionnant aux fréquences microondes.

Ce résumé est organisé en trois parties principales. Nous présentons d'abord la structure antennaire reconfigurable et les technologies de réalisation utilisées. Ensuite les résultats

de caractérisation en fréquence de la permittivité complexe du substrat en papier obtenus par une technique de perturbation d'une cavité résonante sont présentés. Enfin les caractéristiques expérimentales et de simulation de l'antenne reconfigurable sont données. Nous terminons par une conclusion qui décrit le contenu des travaux que nous présenterons en version étendue du papier.

### II. CONCEPTION ET FABRICATION DE L'ANTENNE PATCH SUR SUBSTRAT PAPIER

La structure de l'antenne est présentée sur la Fig. 1. Elle est imprimée sur un substrat en papier PowerCoat XD d'épaisseur 125  $\mu\text{m}$ . Ce choix est justifié par sa robustesse et sa bonne stabilité thermique et dimensionnelle. Pour la conception de l'antenne nous avons utilisé une permittivité relative de 3,3 et une tangente de pertes de 0,11. Les métallisations sont imprimées avec une station Svecia SSM en utilisant une encre à l'argent Henkel ECL 1010.

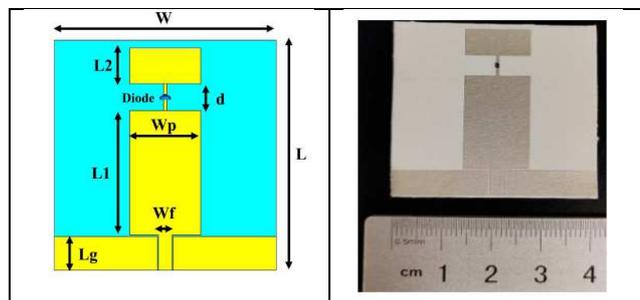


Fig. 1 : Architecture de l'antenne

Une ligne d'accès de type CPW (largeur  $W_f$ , longueur  $L_g$ ) permet de connecter un pavé rayonnant. Ce premier patch ( $L_1$ ,  $W_p$ ) est connecté ou non à un second patch ( $L_2$ ,  $W_p$ ) selon l'état de la diode PIN montée en surface (CMS) sur un tronçon de ligne de longueur  $d$ . La diode PIN est une diode SMPA1345-040L présentant une faible taille et de bonnes performances à haute fréquence (faibles résistance et capacité). A l'état ON elle est polarisée à 2 V avec 5 mA. Les dimensions indiquées dans le Tableau 1 ont été choisies pour que la fréquence d'émission soit proche de 3,6 GHz quand la diode est OFF (pavés non connectés) et 2,4 GHz quand elle passe à l'état ON (pavés connectés).

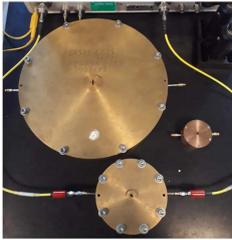
Tab. 1 : Dimensions de l'antenne

	$W$	$L$	$W_p$	$W_f$
Valeur (mm)	41,8	40,3	13,4	2,6
	$L_1$	$L_2$	$L_g$	$d$
Valeur (mm)	22,9	6,5	5,2	5

### III. CARACTERISATION DU SUBSTRAT PAPIER

Pour optimiser la conception de l'antenne reconfigurable et maîtriser les fréquences de rayonnement il a été important de déterminer avec précision la permittivité complexe du substrat en papier. Pour mener à bien cette étude nous avons utilisé la méthode de faible perturbation d'une cavité résonante qui consiste à mesurer le décalage de la fréquence de résonance et la modification du facteur de qualité entre les cas à vide et en charge avec l'échantillon sous test.

Trois cavités cylindriques ont été réalisées pour travailler sur le mode  $TM_{010}$  aux fréquences de 930 MHz, 2,48 GHz et 5,74 GHz à vide. Elles sont présentées en Fig. 2.



	930 MHz	2,48 GHz	5,74 GHz
hauteur (mm)	40	40	20
diamètre (mm)	247	92	40

Fig. 2 : Cavités cylindriques

Pour le cas de la cavité résonante à 2,48 GHz deux échantillons de même papier PowerCoat XD d'épaisseur 125  $\mu\text{m}$  et de longueur 40 mm ont été caractérisés, l'un d'une largeur de 2 mm, l'autre 4 mm. La Fig. 3 représente l'évolution du paramètre  $S_{21}$  dans les cas de la cavité vide et en charge avec les deux largeurs d'échantillons. Le tableau 2 résume les résultats obtenus pour la partie réelle relative de permittivité du substrat papier et sa tangente de pertes.

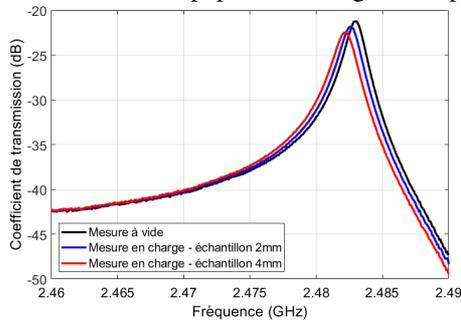


Fig. 3 : Paramètre  $S_{21}$  de la cavité à vide et en charge avec les échantillons de papier de largeur 2 et 4 mm

Tab. 2 : Permittivité du substrat papier

papier	fréquence (GHz)	$\epsilon'_r$	$\tan \delta$
largeur 2 mm	2,4825	3,249	0,1075
largeur 4 mm	2,4821	3,260	0,1066

On peut noter une très bonne indépendance des résultats de permittivité en fonction de la taille des échantillons de papier. Les valeurs obtenues sont en très bon accord avec les données du fabricant. Nous montrerons que ces valeurs sont très stables en fréquence dans la gamme 900 MHz – 6 GHz.

### IV. CARACTERISATION DE L'ANTENNE

Nous avons analysé expérimentalement et par simulation les performances de l'antenne reconfigurable réalisée sur le substrat papier PowerCoat XD d'épaisseur 125  $\mu\text{m}$ . La Fig.

4 montre le paramètre  $S_{11}$  pour les deux états ON et OFF de la diode PIN.

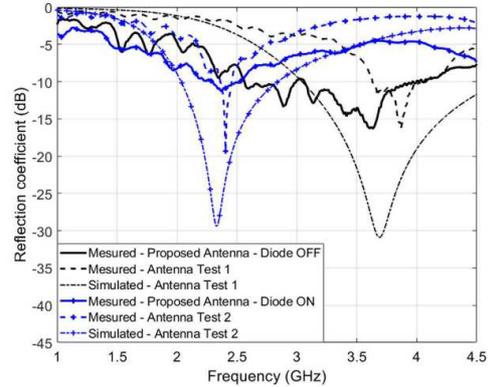


Fig. 4 : Coefficient de réflexion de l'antenne

Nos objectifs sont atteints puisque le caractère reconfigurable de l'antenne est bien obtenu entre les fréquences de 2,4 GHz et 3,6 GHz à l'aide la diode PIN. De plus l'accord entre les résultats expérimentaux et de simulation est très bon. La Fig. 5 montre les diagrammes de rayonnement mesurés à 3,6 GHz et à 2,4 GHz pour chaque état de polarisation de la diode PIN. Ces résultats confirment le bon fonctionnement de l'antenne reconfigurable.

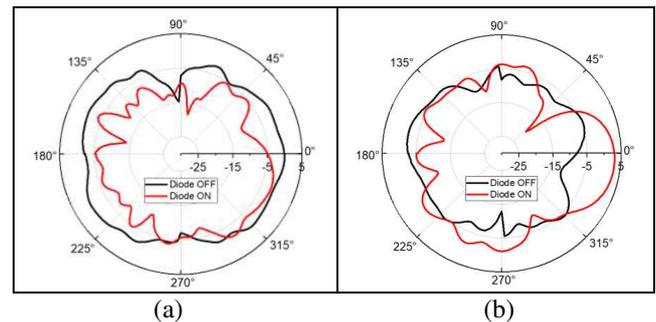


Fig. 5 : Diagrammes de rayonnement de l'antenne à 3,6 GHz (a) et 2,4 GHz (b) en fonction de l'état de la diode.

Dans la version étendue du papier nous présenterons en détail la méthodologie et les résultats de caractérisation du substrat papier. Les performances de l'antenne seront analysées et nous proposerons les solutions technologiques et de design pour les améliorer.

### REFERENCES

- [1] T. Li, H. Zhai, X. Wang, L. Li, and C. Liang, "Frequency-Reconfigurable Bow-Tie Antenna for Bluetooth, WiMAX, and WLAN Applications," *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 14, pp. 171–174, 2015, doi: 10.1109/LAWP.2014.2359199.
- [2] M. Sun, Z. Zhang, F. Zhang, and A. Chen, "L/S Multiband Frequency-Reconfigurable Antenna for Satellite Applications," *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 18, no. 12, pp. 2617–2621, Dec. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2945624.
- [3] S. Agate, M. Joyce, L. Lucia, L. Pal, "Cellulose and nanocellulose-based flexible-hybrid printed electronics and conductive composites - A review" *Carbohydr Polym.*, 2018 Oct 15;198:249-260.doi: 10.1016/j.carbpol.2018.06.045.
- [4] S. Jun, J. Heirons, and B. Sanz-Izquierdo, "Inkjet printed dual band antenna for paper UAVs," in 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Paris, France, Mar. 2017, pp. 3452–3456. doi: 10.23919/EuCAP.2017.7928707.