



**HAL**  
open science

## Antenne cornet SIW pour réseaux de capteurs corporels à 60 GHz

Solofo Razafimahatratra, Theodoros Mavridis, Luca Petrillo, Julien Sarrazin,  
Philippe de Doncker, Aziz Benlarbi-Delai

► **To cite this version:**

Solofo Razafimahatratra, Theodoros Mavridis, Luca Petrillo, Julien Sarrazin, Philippe de Doncker, et al.. Antenne cornet SIW pour réseaux de capteurs corporels à 60 GHz. XIXèmes Journées Nationales Microondes 2015, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01162009

**HAL Id: hal-01162009**

**<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01162009>**

Submitted on 9 Jun 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.

## Antenne cornet SIW pour réseaux de capteurs corporels à 60 GHz

Solofo Razafimahatratra<sup>1</sup>, Theodoros Mavridis<sup>2</sup>, Luca Petrillo<sup>2</sup>, Julien Sarrazin<sup>1</sup>, Philippe De Doncker<sup>2</sup>, Aziz Benlarbi-Delai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Electronique et Electromagnétisme, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UR2, L2E, F-75005

<sup>2</sup> Wireless Comm Group – OPERA Dpt., Université Libre de Bruxelles, 1050 Bruxelles  
rzfmsarobidy@gmail.com

### Résumé

Une antenne cornet SIW à 60 GHz pour les réseaux de capteurs corporels (BANs : Body Area Networks) a été conçue et caractérisée en espace libre et sur le corps humain. Cette antenne permettra de faire des mesures réalistes de propagation sur la surface du corps humain dans l'optique de développer ou de valider des modèles de canaux. Pour cela, la conception a visé une antenne planaire fonctionnant sur une large bande de fréquence avec un rayonnement à polarisation verticale. L'antenne est de dimensions 11.7 x 22 x 0.787 [mm]. Elle est adaptée ( $S_{11} < -10\text{dB}$ ) sur une bande de 6.1GHz autour de 60GHz. Le gain est de 6.6 dB sous CST.

### 1. Introduction

Les réseaux de capteurs sur le corps humain ou Body Area Networks (BANs) offrent un potentiel sans précédent pour le suivi médical à distance en temps réel et en continu des patients. Cette génération de réseaux définie formellement en 2006 permet non seulement d'améliorer la sécurité et le confort des patients mais aussi de réduire les coûts médicaux associés.

D'autres fréquences allant de 400 MHz à 10 GHz sont utilisées pour les communications BANs [1]. L'utilisation de la bande de fréquence millimétrique apparaît pertinente pour la minimisation de la taille des antennes. L'utilisation de cette bande présente aussi comme avantages une faible pénétration des ondes dans la peau et une faible interférence avec d'autres réseaux et entre BANs. La bande disponible autour de 60 GHz est une bande non licenciée sous-entendant pour son utilisation un coût limité et plus de flexibilité. En outre, cette bande est large allant de 57 à 64 GHz soit d'une largeur de 7 GHz [2]. La forte atténuation à 60 GHz de l'ordre de 68 dB pour 1 m de liaison [1] restreint la portée des réseaux et peut renforcer la confidentialité des données.

Les modèles de canaux disponibles pour les BANs ne sont pas définis sur toute la bande autour de 60 GHz. Afin d'établir un modèle de canal de propagation précis pour la communication sur le corps humain ou « on-body » sur cette bande, des mesures réalistes avec des antennes planaires sont requises.

Il a été démontré dans [3] que la polarisation orthogonale au corps humain souffrait moins des pertes

d'absorption dans la peau que la polarisation tangentielle, améliorant ainsi les bilans de liaison. Une antenne cornet est une candidate potentielle pour sa polarisation verticale et la possibilité d'avoir un gain élevé limitant ainsi la consommation d'énergie pour les mesures de liaison entre des points fixes. La technologie SIW permet de réaliser l'équivalent planaire d'une antenne cornet volumique métallique. Une comparaison d'antennes à 60GHz est établie dans la section qui suit, puis la conception du cornet SIW est présentée. En dernier lieu, les résultats de simulation sous le logiciel CST et de mesure sont comparés.

### 2. Antennes pour les BANs à 60GHz

Le tableau suivant permet de comparer brièvement différents types d'antennes utilisés pour les BANs à 60 GHz présents dans la littérature. La liste n'est pas exhaustive mais regroupe les antennes planaires adaptées autour de 60 GHz et directives.

Types d'antennes	Dimensions (mm)	Bande [GHz]	Gain
Monopole planaire [4]	1.1 x 1.1 x 0.254	57-64	5.6dBi
Yagi [5]	26 x 8 x 0.34	57-64	9.2dBi
Cornet SIW GaAs $\epsilon_r = 12.7$ [6]	1.7 x 1.8 x 0.3	58.5-62.5	N.C.

Tableau 1. Comparaison de quelques antennes BAN à 60 GHz.

Les antennes monopole planaire et Yagi présentent de bonnes performances en termes de gain et de largeur de bande mais rayonnent un champ dont la polarisation est tangentielle au corps humain. Pour une polarisation orthogonale (verticale), l'antenne cornet SIW semble indiquée, même si sa bande est plus limitée. Dans ce qui suit, la dernière topologie a été choisie tout en essayant d'élargir la bande obtenue en [6].

### 3. Design d'antenne cornet SIW

Les différentes étapes de design d'une antenne cornet plan H métallique conventionnel à 60 GHz sont présentées dans [7]. L'équivalent SIW est obtenu suivant les règles d'équivalence dans [8].

Des plaques sont rajoutées en sortie du cornet pour élargir la bande d'adaptation selon [9]. Elles permettent aussi de réduire le rayonnement vers l'arrière de l'antenne. L'antenne réalisée sur un substrat RT Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$ ,  $\tan\delta = 0.003$ ) d'épaisseur 0.787mm est présentée sur la Figure 1.

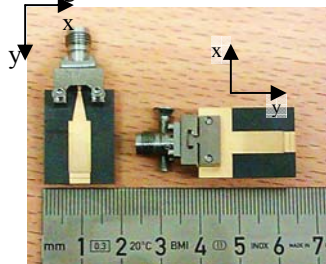


Figure 1. Antennes réalisées.

Les dimensions de la transition microruban taper sont optimisées par simulation pour présenter une adaptation optimale entre le connecteur coaxial 50Ω et le cornet.

#### 4. Résultats pour l'antenne en espace libre

La Figure 2 montre le coefficient de réflexion obtenu par simulation sous CST Microwave Studio et celui mesuré à partir de trois prototypes d'antennes réalisées.

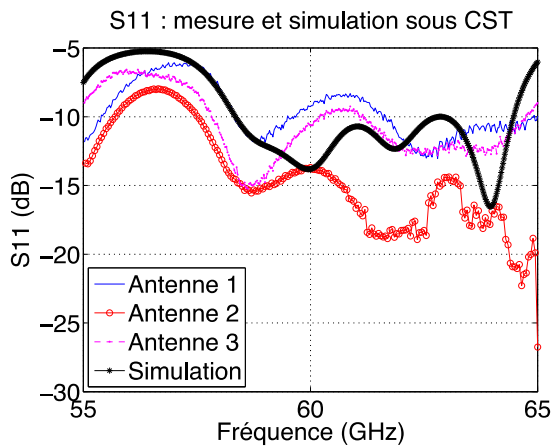
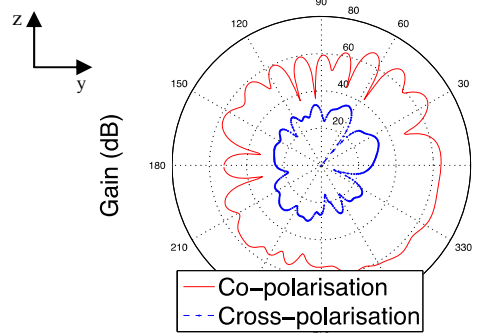


Figure 2.  $S_{11}$  (dB) : comparaison de la simulation et de la mesure.

La largeur de bande à -10dB est de 6 GHz en simulation et de plus de 7.7 GHz en mesure pour le prototype 2 (le VNA avec lequel a été effectuée la mesure est limité à 65 GHz). Les mesures sont cohérentes avec la simulation. Les antennes sont adaptées sur une bande de 57.5 à 64 GHz ou plus. Les différences entre simulation et mesure ainsi que la dispersion propre aux antennes mesurées, peuvent s'expliquer par la tolérance de gravure (surtout sur les deux plaques en sortie du cornet dont les dimensions sont critiques) et par l'assemblage du connecteur vissé, sans soudure.

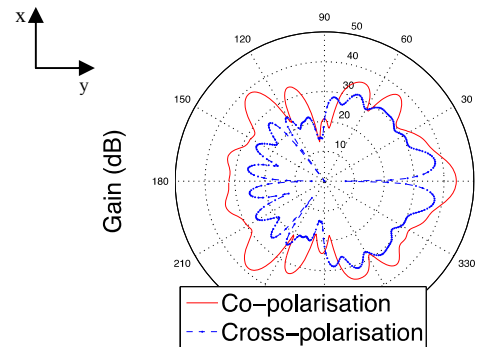
Les diagrammes de rayonnement simulés sont présentés sur la Figure 3. Le gain de l'antenne simulé est de 6.6 dB. Les fluctuations observées sont essentiellement dues aux ondes de surface générées au niveau de la transition. Le rapport lobe avant - arrière suivant le plan H est d'environ 12 dB.

Gain (dB) normalisé en espace libre suivant le plan E



Fréquence (GHz)

Gain (dB) normalisé en espace libre suivant le plan H



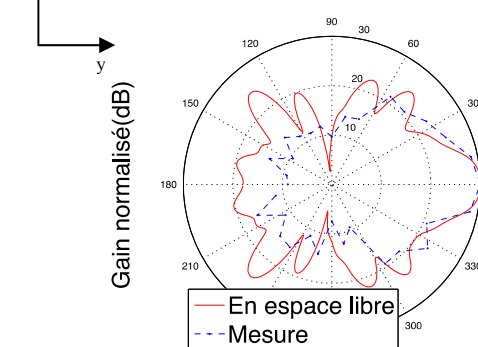
Fréquence (GHz)

Figure 3. Diagrammes de rayonnement simulés en espace libre co-polarisation et cross-polarisation : (a) plan E, (b) plan H.

La différence entre les rayonnements co-polarisation et cross-polarisation est de 34.4 dB dans la direction 0°. Une différence de niveau est toujours supérieure à 10 dB suivant le plan E (en élévation).

Le diagramme de rayonnement suivant le plan H d'un prototype d'antenne est présenté sur la Figure 4 avec le diagramme simulé sous CST en gain normalisé.

Gain normalisé (dB) suivant le plan H



Fréquence (GHz)

Figure 4. Diagramme de rayonnement en gain normalisé (dB) : comparaison de la simulation et de la mesure.

Les diagrammes présentent les mêmes variations autour du lobe principal. Le gain mesuré est plus faible vers l'arrière.

## 5. Résultats pour l'antenne sur le corps

### 5.a. Influence du corps humain sur le coefficient de réflexion

L'antenne a été placée sur le corps et à différentes hauteurs par rapport au corps grâce à l'utilisation d'un matériau Rohacell IG 31 (cf. Figure 5) de caractéristique diélectrique quasi-identique à celle de l'air ( $\epsilon_r=1.05$ ) et à faible perte ( $\tan\delta=0.0034$  à 26.5 GHz). D'une épaisseur de un millimètre, ce matériau a permis de faire varier la hauteur  $h_T$  d'une manière assez précise.



Figure 5. Mesure à différentes hauteurs  $h_T$  du corps humain.

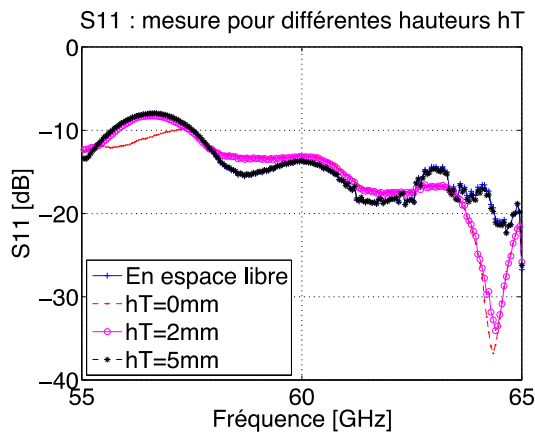


Figure 6. Influence de la hauteur  $h_T$  de l'antenne par rapport au corps.

Pour différentes hauteurs de l'antenne par rapport au corps, les  $S_{11}$  mesurés présentés sur la Figure 6 montrent que l'antenne reste adaptée ( $S_{11} < -10$  dB) sur la bande de fréquence désirée. Le  $S_{11}$  est plus faible sur une partie de la bande quand l'antenne est placée sur le corps dû aux absorptions du corps. Pour une hauteur plus élevée, l'influence du corps est réduite. A une hauteur  $h_T$  de 5 mm, il suit exactement la courbe de  $S_{11}$  en espace libre. La présence du corps et la hauteur de l'antenne par rapport au corps n'a qu'une légère influence sur l'adaptation de l'antenne.

### 5.b. Influence de la présence du corps sur le diagramme de rayonnement – simulation sous CST

L'antenne a été simulée sur un fantôme modélisant le corps humain de permittivité  $\epsilon_r = 7.98$  et de conductivité  $\sigma = 36.4$  S/m selon [10]. Les dimensions du fantôme sont définis tel que le fantôme déborde de 20 mm l'antenne sur chaque côté pour limiter le temps de calcul. L'épaisseur du fantôme est de 2 mm. Cette

épaisseur est supérieure à l'épaisseur de peau à 60 GHz c'est à dire à la profondeur de pénétration de la peau par l'onde électromagnétique qui est de 0.5 mm. En simulation sur CST, au delà d'une épaisseur de fantôme de 2 mm, le champ lui pénétrant est négligeable.

Les diagrammes de rayonnement suivant le plan H et suivant le plan E de l'antenne cornet SIW sont présentés par la Figure 7 et la Figure 8.

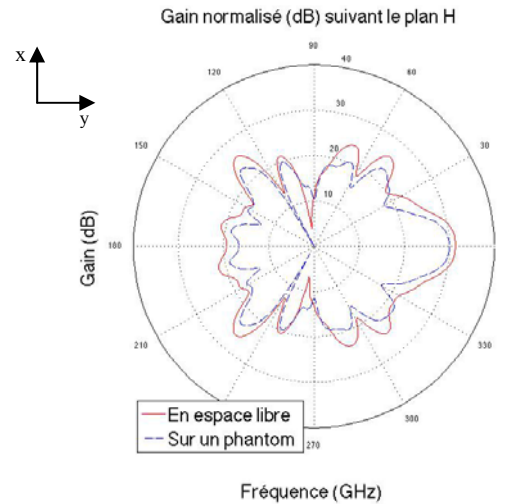


Figure 7. Diagramme de rayonnement sous CST (plan H).

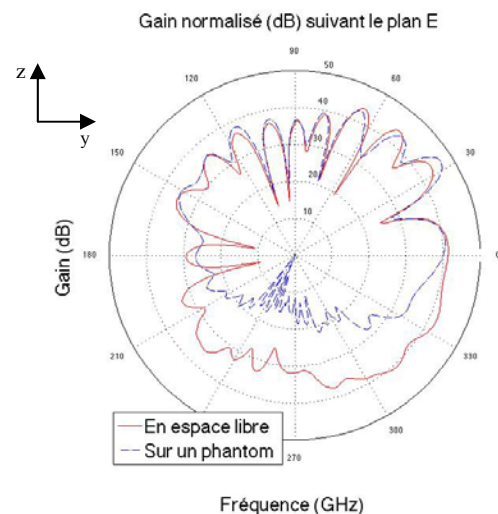


Figure 8. Diagramme de rayonnement sous CST (plan E).

Suivant le plan H, le rayonnement est maximal vers l'avant. Le gain de l'antenne simulé est de 6.6 dB en espace libre et de 5.3 dB sur le fantôme. Le rapport lobe avant - arrière est d'environ 13.3 dB.

Les diagrammes de rayonnement suivant le plan E présentent différents lobes. Les fluctuations observées sont essentiellement dues aux réflexions par le connecteur et par le fantôme.

Les niveaux des lobes sont quasiment égaux. Néanmoins, en espace libre, le lobe principal est à  $0^\circ$  d'élévation tandis que sur le corps, le lobe principal est orienté à  $33^\circ$  vers le haut.

Le fantôme est fin et planaire donc ne considère pas les formes telles que les courbures et dimensions réelles du corps.

## 6. Conclusion

Une antenne cornet SIW plan H est étudiée et réalisée à 60 GHz. L'antenne planaire est de dimension  $11,7 \times 22 \times 0,787 \text{ mm}^3$  et a pour vocation de réaliser des mesures de canal on-body. Le rayonnement est directif avec un gain de 6.6 dB en espace libre.

Le  $S_{11}$  reste quasiment invariant sur le corps et à différentes hauteurs antenne – corps. Le gain de rayonnement est atténué de 1.3 dB (de 6.6 à 5.3 dB) sur le corps, pour les dimensions de fantômes choisies. Le diagramme de rayonnement gardant la même forme suivant le plan de la surface du corps (plan H). Suivant le plan E, l'onde est réfléchi par le corps vers le haut et le lobe principal est orienté à  $33^\circ$  vers le haut sur le corps à une hauteur  $h_T$  de 0 mm.

A différentes hauteurs par rapport au corps, une hauteur élevée fait tendre vers un rayonnement en espace libre (gain élevé, efficacité élevée, rayonnement maximal à  $0^\circ$  d'élévation).

## 7. Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre du Labex SMART soutenu par des fonds d'Etat français gérés par l'ANR au sein du programme Investissements d'Avenir sous la référence ANR-11-IDEX-0004-02.

## 8. Bibliographie

- [1] A. Pellegrini, A. Brizzi, A. Zhang et al., « *Antennas and propagation for body-centric wireless communications at millimeter-wave frequencies: A review [wireless corner]* », *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 55, no 4, 2013, p. 262-287.
- [2] L. Petrillo, T. Mavridis, J. Sarrazin, D. Lautru, A. Benlarbi-Delai, P. De Doncker, « *Analytical Creeping Wave Model at 60 GHz for On-Body Communications* », 7th European Conference on Antennas and Propagation, novembre 2013.
- [3] P. S. Hall, Y. Hao, S. L. Cotton, « *Progress in antennas and propagation for body area networks* », *IEEE Signals Systems and Electronics (ISSSE), International Symposium*, Vol. 1, septembre 2010, pp. 1-7.
- [4] J. Hautcoeur, L. Talbi, K. Hettak, « *Monopole Lozange antenna for 60-GHz applications* », *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 2012, pp. 1-2.
- [5] N. Chahat, M. Zhadobov, L. Le Coq, R. Sauleau, « *Wearable end-fire textile antenna for on-body communications at 60 GHz* », *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, 2012, p. 799-802.
- [6] J. S. Fu, « *Preliminary Study of 60 GHz Air-filled SIW H-Plane Horn Antenna* », *IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS)*, 2011, pp. 1-4.
- [7] S. Razafimahatratra, J. Sarrazin, A. Benlarbi Delai, P. De Doncker, « *Horn antenna design for BAN millimeter wave on-body communication* », *IEEE APS*, juillet 2014, pp. 204-2.
- [8] D. Deslandes and K. Wu, « *Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form* », *IEEE Microwave Wireless Components Letters*, Vol. 11, n°2, 2001, pp. 68-70.
- [9] M. Esquiús-Morote, B. Fuchs, J-F. Zürcher and J. R. Mosig, « *A Printed Transition for Matching Improvement of SIW Horn Antennas* », *IEEE Transactions on Antennas and propagation*, Vol. 61, n°4, avril 2013.
- [10] S. Gabriel, W. Lau, C. Gabriel, « *The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues* », *Phys. Med. Biol.*, 1996, 41, 2271–2293.