

## Antenne Vectorielle Large-Bande pour la Radiogoniométrie 3D

J. Duploux<sup>1,2</sup>, C. Morlaas<sup>1</sup>, H. Aubert<sup>2</sup>, P. Potier<sup>3</sup>, P. Pouliguen<sup>3</sup> et C. Djoma<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : ENAC, TELECOM-EMA, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse, France

<sup>2</sup> : LAAS-CNRS, MINC, Université de Toulouse, F-31400 Toulouse, France

<sup>3</sup> : Direction Générale de l’Armement (DGA), F-75509 Paris, France  
johan.duploux@enac.fr

### Résumé

Une antenne reconfigurable large-bande présentant des caractéristiques radioélectriques susceptibles de répondre aux besoins de la radiogoniométrie 3D est proposée dans cette communication. Il s’agit d’une antenne vectorielle constituée de deux réseaux semi-circulaires orthogonaux et colocalisés d’antennes Vivaldi, disposés sur support métallique. Cette antenne permet notamment de synthétiser les diagrammes de rayonnement de deux dipôles magnétiques et d’un dipôle électrique sur une bande de fréquence de 1.69 :1 (définie pour un ROS de 2.3).

### 1. Introduction

La radiogoniométrie fait référence aux différentes techniques permettant d’estimer la direction d’arrivée (DoA) d’une onde électromagnétique (EM) incidente. L’une de ces techniques consiste à exploiter la mesure des différentes composantes d’un champ EM incident à l’aide d’une antenne vectorielle (AV) [1]. L’estimation de la DoA est rendue possible grâce à l’utilisation de six capteurs orthogonaux et faiblement couplés, à savoir trois dipôles électriques et trois dipôles magnétiques. Alors que la plupart des antennes de radiogoniométrie présentées dans la littérature ou disponibles sur le marché permettent d’estimer la DoA seulement en azimut ou en élévation, quelques solutions couvrant tout l’espace (à la fois en azimut et en élévation) ont récemment vu le jour. Parmi elles figurent une solution active couvrant des fréquences inférieures à 30 MHz [2] et une solution passive et bi-bande fonctionnant aux fréquences GSM [3]. Une solution originale, basée sur l’utilisation d’une AV reconfigurable pouvant répondre aux besoins de la radiogoniométrie 3D large-bande est présentée dans cette communication.

### 2. Antenne Vectorielle Large-Bande

Une AV disposée sur un plan de masse (voir Fig. 2) permet de mesurer les composantes  $H_x$  et  $H_y$  du champ magnétique et la composante  $E_z$  du champ électrique dans le repère cartésien. Ces mesures sont rendues possibles grâce à la présence de deux dipôles magnétiques et d’un dipôle électrique au sein de l’AV. La principale difficulté de conception réside ici dans l’élaboration d’un dipôle magnétique large-bande. Afin de synthétiser un diagramme omnidirectionnel dans le plan E sur une large bande de fréquence, et ainsi concevoir un dipôle magnétique large-bande, les auteurs de cette communication ont récemment proposé d’utiliser un réseau circulaire d’antennes Vivaldi [4]. La Fig. 1 présente un réseau circulaire de quatre antennes Vivaldi, disposé sur un plan de masse, présentant une alimentation à 2 ports. Chaque port alimente deux antennes Vivaldi

présentes sur le réseau. Les dimensions de celui-ci sont données dans le tableau 1.

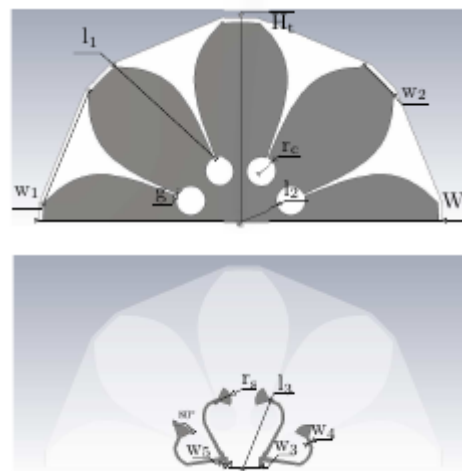


Figure 1. Géométrie du réseau semi-circulaire d’antennes Vivaldi et de son alimentation

$W_t$	$H_t$	$w_1$	$w_2$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
153	76.5	43.8	14.4	50.5	15	26.7
$g$	$r_c$	$r_s$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$e$
0.6	5.5	5.5	1.6	1	6.1	125

Tableau 1 : Principales dimensions (en mm) de l’antenne de la Fig. 1

Une nouvelle AV reconfigurable, constituée de deux réseaux semi-circulaires orthogonaux et colocalisés d’antennes Vivaldi, est présentée sur la Fig. 2. Le contrôle des amplitudes et des phases appliquées sur les 4 ports de l’antenne, tel que spécifié dans le tableau 2, permet de synthétiser les diagrammes de rayonnement de deux dipôles magnétiques et d’un dipôle électrique.

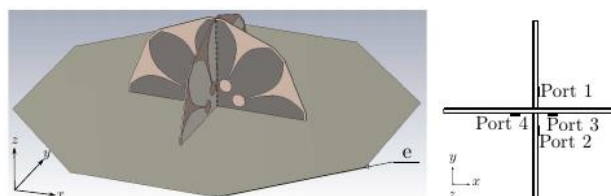


Figure 2. Géométrie de l’AV

Config.	Composante mesurée	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
1	$H_x$	1	$1 \angle 180^\circ$	0	0
2	$H_y$	0	0	1	$1 \angle 180^\circ$
3	$E_z$	1	1	1	1

Tableau 2 : Configuration d’excitation appliquée en post-traitement pour la mesure des composantes  $H_x$ ,  $H_y$  ou  $E_z$  du champ électromagnétique incident (voir la Figure 2 pour le choix des axes)

### 3. Performances simulées et mesurées de l’antenne vectorielle proposée

Un prototype de l’AV a été réalisé et mesuré en chambre anéchoïque. La bande passante mesurée de l’AV (définie pour un ROS inférieur à 2.3) est [2.10GHz-3.55GHz], soit 1.69:1. L’antenne est incluse dans une demi-sphère de rayon  $0.52\lambda$ , où  $\lambda$  désigne la longueur d’onde dans le vide à 2.10 GHz. L’isolation mesurée entre les différents ports de l’antenne est au moins de -23dB sur l’ensemble de la bande passante. La Fig. 4 présente les diagrammes de rayonnement (simulés et mesurés) dans le plan yz. Ils ont été obtenus par recombinaison des champs rayonnés dans les configurations d’excitation 1 et 3 précisées dans le tableau 2. Une adéquation satisfaisante entre les résultats de simulation et les mesures est obtenue. Les diagrammes de rayonnement correspondent à ceux d’un dipôle magnétique et d’un dipôle électrique dans le plan E. Plus précisément, les Figs. 4(a-c-e) montrent que le diagramme de rayonnement du dipôle magnétique mesurant la composante  $H_x$  du champ EM incident est quasi-omnidirectionnel avec quelques fluctuations pouvant être attribuées à la finitude du plan de masse. En effet, un diagramme (simulé) avec des fluctuations inférieures à 2dB sur toute la bande passante est obtenu si l’AV est disposée sur un plan de masse infini. Enfin, l’observation des Figs. 4(b-d-f) met en évidence qu’aux fréquences élevées et pour un plan de masse infini, des directions aveugles indésirables sont présentes dans le diagramme de rayonnement du dipôle électrique mesurant la composante  $E_z$  du champ EM incident pour un angle  $\theta$  proche de  $70^\circ$  et un angle  $\Phi \in \{0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ\}$ . Lorsque le plan de masse est fini, ces directions ne sont plus strictement aveugles.

### 4. Performances pour l’estimation de la DoA

Une étude préliminaire permettant d’évaluer les performances d’estimation de la DoA d’un champ EM incident sur l’antenne vectorielle est présentée ici. Deux cas seront considérés : (1) l’AV est sur un plan de masse infini, et (2) l’AV est sur un support métallique fini et octogonal. Les différentes DoA sont estimées en utilisant l’algorithme MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) [3]. À l’instar des travaux publiés dans [3], une matrice de calibration est utilisée ici pour permettre la prise en compte d’éventuelles distorsions d’amplitude et de phase de rayonnement. Les conditions d’estimation et l’erreur angulaire RMS  $\Delta a_{RMS}$  (définie dans [3]) sont présentées respectivement dans les tableaux 3 et 4. Ces résultats préliminaires sont très encourageants. Ils montrent que l’AV proposée est susceptible d’estimer avec précision et dans une large bande de fréquence la direction d’arrivée d’un champ EM incident.

Densité de puissance reçue	-100dBW.m <sup>-2</sup>
Puissance de bruit du récepteur	-141dBW
Nombre d’observations par estimation	100
Nombre d’estimation par DoA	20
Polarisation de l’onde incidente	Verticale

Tableau 3 : Conditions d’estimation de la direction d’arrivée d’un champ EM incident sur l’AV

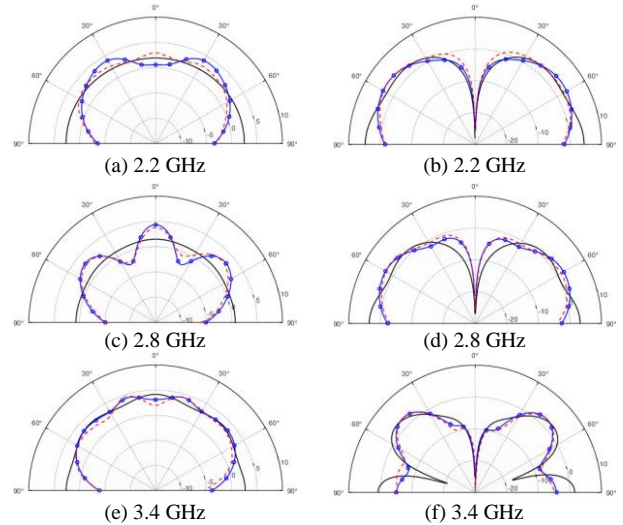


Figure 4. Gain en polarisation principale recombinaison pour la mesure de  $H_x$  (gauche) et de  $E_z$  (droite) dans le plan yz. Les résultats de simulation avec un plan de masse infini et avec un plan de masse fini sont représentés, respectivement, en noir et en bleu. Les résultats de mesures sont représentés en pointillé rouge.

$\Phi$	$\theta$	2.2 GHz	2.8 GHz	3.4 GHz
$5^\circ$	$20^\circ$	$0.13^\circ/0.64^\circ$	$0.31^\circ/0.70^\circ$	$0.48^\circ/0.27^\circ$
$45^\circ$	$50^\circ$	$0.77^\circ/0.87^\circ$	$2.46^\circ/0.51^\circ$	$0.5^\circ/1.30^\circ$
$85^\circ$	$80^\circ$	$0.50^\circ/0.67^\circ$	$0.39^\circ/0.74^\circ$	$0.01^\circ/0.01^\circ$

Tableau 4 : Erreur RMS angulaire ( $\Delta a_{RMS}$  pour un plan de masse infini/  $\Delta a_{RMS}$  pour un plan de masse fini)

### 5. Conclusion

Dans cette communication, une antenne vectorielle reconfigurable susceptible de répondre aux besoins de la radiogoniométrie 3D large-bande a été proposée. En se basant sur l’algorithme MUSIC, une étude préliminaire a permis d’estimer les erreurs commises sur la direction d’arrivée d’un signal électromagnétique incident sur l’antenne. Les premiers résultats obtenus sont très encourageants.

### 6. Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Générale de l’Armement ainsi que la région Occitanie pour le co-financement de la thèse de Johan Duplouy.

### 7. Bibliographie

- [1] A. Nehorai and E. Paldi, “Vector-sensor array processing for electromagnetic source localization”, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 42, no. 2, pp. 376–398, Feb 1994.
- [2] B. Almog, “Compact 3D direction finder”, Patent, Mar 2013, EP20120184835
- [3] J. Lominé, C. Morlaas, C. Imbert, and H. Aubert, “Dual-band vector sensor for direction of arrival estimation of incoming electromagnetic waves”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 8, pp. 3662–3671, Aug 2015.
- [4] J. Duplouy, C. Morlaas, H. Aubert, P. Potier, P. Pouliguen, and C. Djoma, “Grounded colocated antennas for wideband vector sensor applications”, in IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), San Diego, July 2017.