



**HAL**  
open science

## Antenne vectorielle large bande et à diversité de diagramme pour la radiogoniométrie 3D

Johan Duploux, Hervé Aubert, Christophe Morlaas, P. Potier, P. Pouliguen

### ► To cite this version:

Johan Duploux, Hervé Aubert, Christophe Morlaas, P. Potier, P. Pouliguen. Antenne vectorielle large bande et à diversité de diagramme pour la radiogoniométrie 3D. 21èmes Journées Nationales Micro-Ondes, May 2019, Caen, France. hal-02156247

**HAL Id: hal-02156247**

**<https://enac.hal.science/hal-02156247>**

Submitted on 14 Jun 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.

## Antenne vectorielle large bande et à diversité de diagramme pour la radiogoniométrie 3D

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

<sup>1</sup>ENAC, TELECOM-EMA, F-31055 Toulouse, France.

<sup>2</sup>LAAS-CNRS, MINC, F-31400 Toulouse, France.

<sup>3</sup>DGA, F-75509 Paris, France.

johan.duplouy@enac.fr

**Résumé** — Les performances d'estimation d'une antenne vectorielle sont améliorées en tirant profit de sa reconfigurabilité en diagramme. Une méthode est proposée afin de mettre à profit la diversité de diagramme pour estimer précisément la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique.

### 1. Introduction

La radiogoniométrie a pour objectif d'estimer la direction d'arrivée (DoA) d'un champ électromagnétique (EM) incident. Une technique novatrice utilisée en radiogoniométrie consiste à exploiter la mesure des différentes composantes du champ à l'aide d'une antenne vectorielle (AV) [1]. Différentes AVs permettant une estimation de la DoA dans l'espace 3D (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]. En 2018, les auteurs ont proposé une solution passive, large bande et reconfigurable en diagramme [4]. Une première étude des performances d'estimation de celle-ci, sous-mentionnée AV *Two Season*, a été réalisée dans [5]. Dans cet article, nous proposons d'améliorer les performances d'estimation de l'AV *Two Season* sur l'ensemble de sa bande passante en tirant profit de sa reconfigurabilité en diagramme, c'est-à-dire en employant dans le processus d'estimation de nouveaux diagrammes de rayonnement (RPs) en plus de ceux communément employées par les AVs classiques. De plus, une méthode basée sur la borne de Cramer-Rao (BCR) est présentée pour sélectionner les RPs.

### 2. Principe

#### 2.a. Critère de sélection

L'AV *Two Season* est constituée de deux réseaux semi-circulaires orthogonaux et colocalisés d'antennes Vivaldi et présente quatre ports. Elle est destinée à estimer la DoA d'un champ EM incident polarisé verticalement grâce à la mesure des composantes  $E_z$ ,  $H_x$ ,  $H_y$  (voir Fig. 1) dans la bande [2.1 GHz - 3.55 GHz]. Cette mesure est rendue possible grâce à la reconfigurabilité en diagramme de l'an-

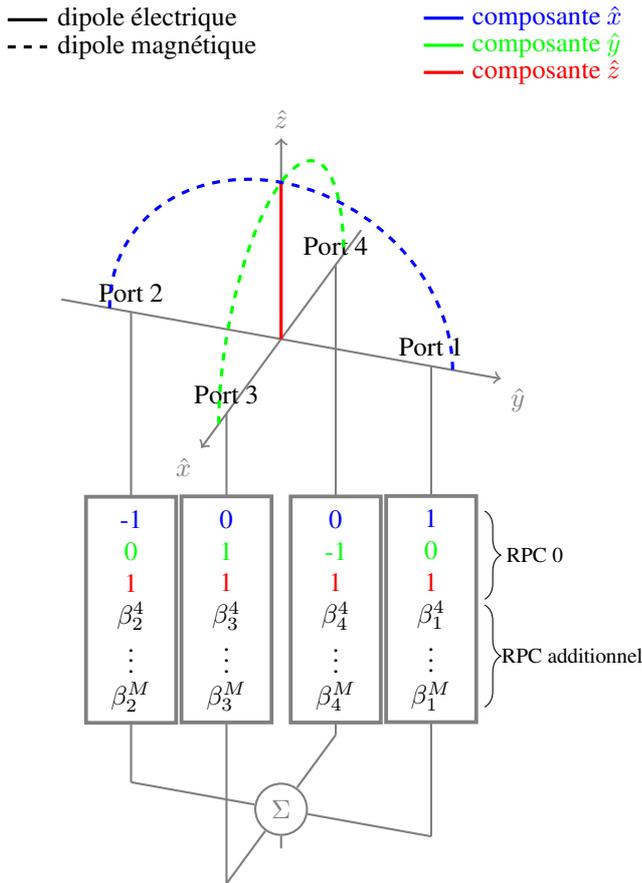
tenne. En pratique, chaque port est mesuré séquentiellement pendant que les autres ports sont adaptés, les composantes sont ensuite obtenues en post-traitement grâce à trois lois de pondération appliquées aux quatre sorties de l'AV (dénotées par l'acronyme RPC 0, pour *Radiation Patterns Combination*). Une fois les composantes mesurées, l'algorithme de haute-résolution MUSIC (Multiple Signal Classification)[6] peut-être utilisé afin d'estimer la DoA du champ EM incident. Afin d'améliorer les performances d'estimation, nous proposons d'utiliser de nouveaux RPs (c'est-à-dire, de nouvelles lois de pondération [ $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4$ ]) en plus de ceux associés à RPC 0. Ils sont choisis à partir d'une méthode basée sur la BCR dont l'objectif est de choisir le RPC additionnel (défini comme un ensemble de lois de pondération fournissant le même RP avec une rotation de 90° dans le plan azimutal) qui maximise la précision de l'estimation sur l'ensemble de la bande passante. Plus spécifiquement, elle consiste à choisir entre différents RPCs, le RPC permettant d'obtenir la BCR (en azimut et en élévation) la plus petite lorsqu'il est ajouté à RPC 0.

#### 2.b. Choix du RPC additionnel

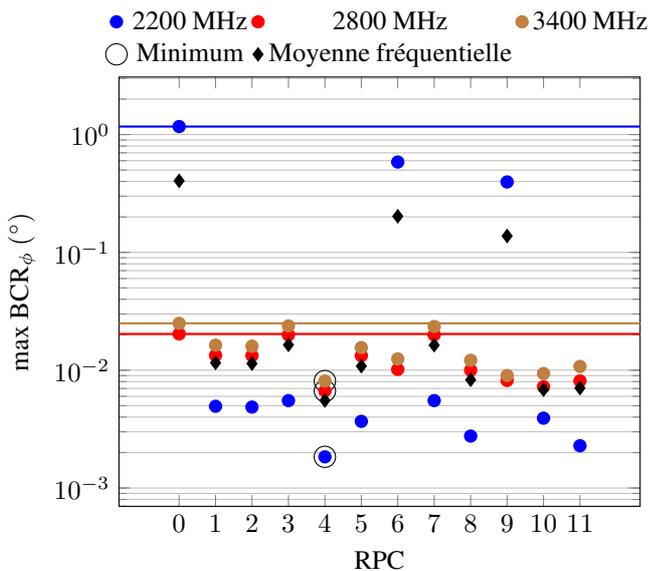
Pour cette étude, nous avons limité le choix des coefficients de pondération  $\beta_i$  à +1, 0 et -1. Pour chaque RPC (au nombre de 11) ajouté à RPC 0, les  $BCR_\phi$  (en azimut) et  $BCR_\theta$  (en élévation) sont calculées sur l'ensemble de l'espace 3D supérieur et à trois fréquences (2.2 GHz, 2.8 GHz et 3.4 GHz) et dans les conditions résumées dans le Tableau 1. Il ressort que parmi les différents RPCs potentiels, le RPC (dénoté RPC 4) permet d'obtenir la plus petite BCR aux fréquences d'étude (voir Figs. 2 et 3).

Polarisation du champ EM incident	Verticale
Densité de puissance reçue	-117 dBW.m <sup>-2</sup>
Puissance de bruit du récepteur	-141 dBW.m <sup>-2</sup>
Nombre d'observations par estimation	100

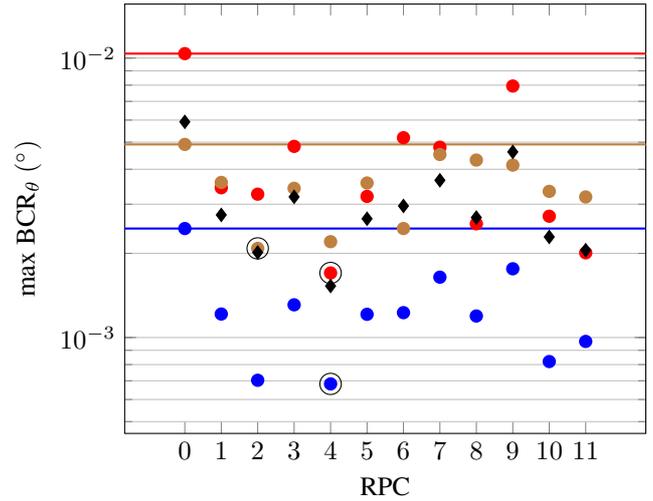
**Tableau 1. Paramètres utilisés pour le calcul de la  $BCR_\phi$  (en azimut) et de la  $BCR_\theta$  (en élévation)**



**Figure 1. Lois de pondération appliquées aux quatre ports de l'AV *Two Season* pour mesurer les composantes  $E_z$ ,  $H_x$  et  $H_y$  (RPC 0) d'un champ EM incident et celles associées à la diversité de diagramme additionnelle**



**Figure 2.  $BCR_\phi$  maximale en fonction du RPC**



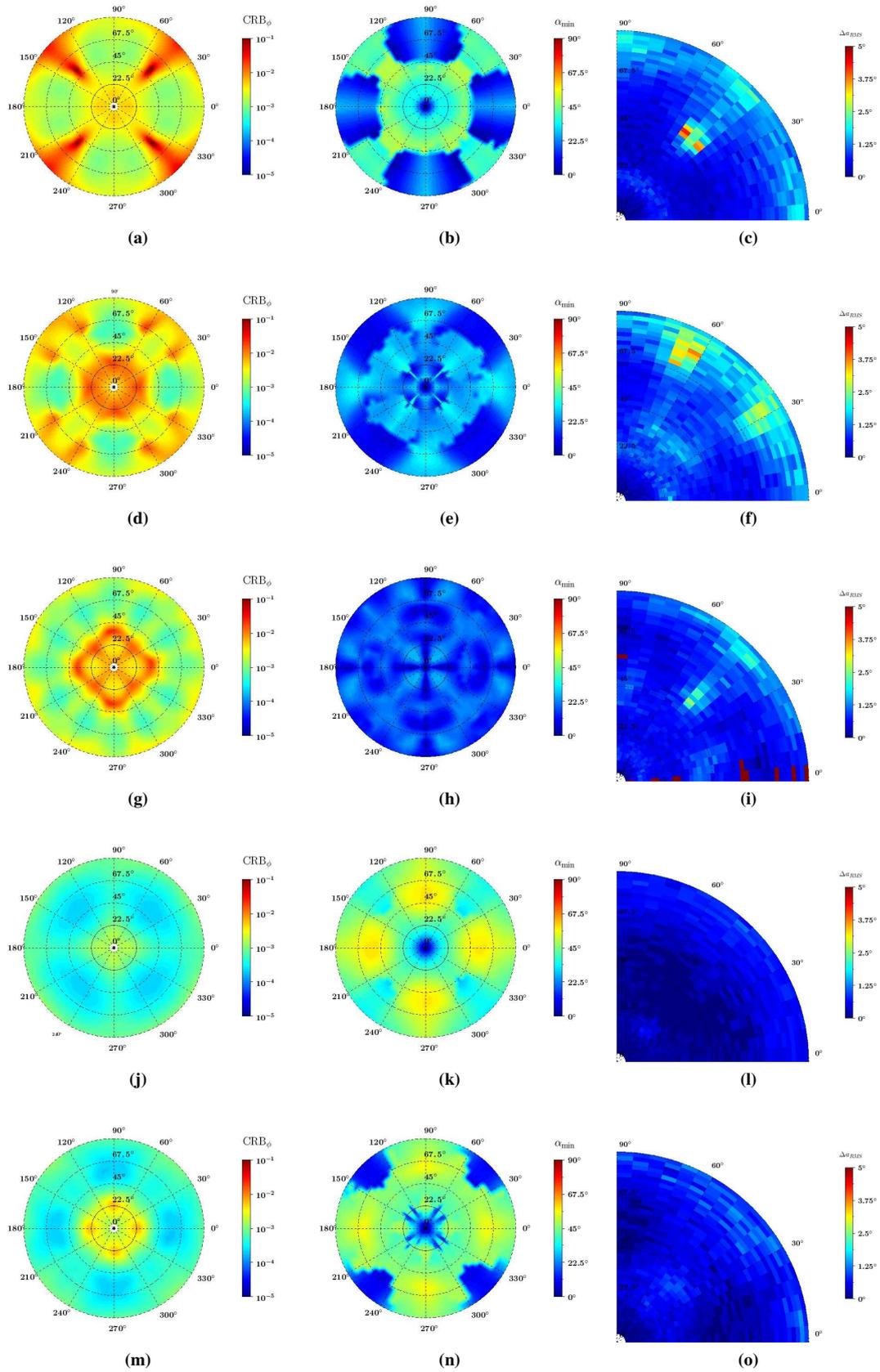
**Figure 3.  $BCR_\theta$  maximale en fonction du RPC**

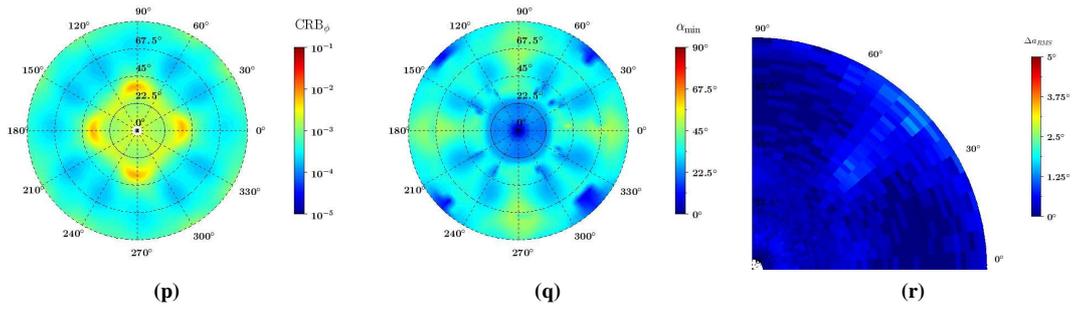
### 3. Performances d'estimation simulées

Les performances d'estimation de l'AV *Two Season* sont évaluées en utilisant ou non la diversité de diagramme supplémentaire (notée RPC 4) et l'algorithme MUSIC. Les conditions d'estimation sont celles de [5]. La précision de l'estimation est notamment caractérisé grâce à l'analyse de l'erreur angulaire  $\Delta a_{RMS}$  entre la DoA estimée et la DoA réelle (définie dans [3]), et en s'intéressant notamment à la valeur maximale et au 95<sup>ème</sup> percentile (c.-à-d., à l'erreur maximale pour 95% de toutes les DoAs estimées). La Fig. 4 (colonnes 3 et 4) et le Tableau 2 présentent les résultats de cette étude. On peut constater une augmentation significative de la précision d'estimation de la DoA d'un champ EM incident grâce à l'ajout de la diversité de diagramme. Avec d'expliquer cette amélioration, il est possible de s'intéresser à deux métriques complémentaires (définies dans [3]) : (i) la BCR et (ii) le spectre d'ambiguïté angulaire 3D. Elles permettent notamment d'identifier les zones angulaires dans lesquelles les valeurs les plus élevées de  $\Delta a_{RMS}$  sont atteintes. Ces métriques sont représentées aux trois fréquences d'étude sur la Fig. 4 (colonnes 1 et 2).

Fréquence	RPC 0		RPC 0 + RPC 4	
	max $\Delta a_{RMS}$	95 <sup>ème</sup> percentile de $\Delta a_{RMS}$	max $\Delta a_{RMS}$	95 <sup>ème</sup> percentile de $\Delta a_{RMS}$
2.2 GHz	4.2°	1.7°	1.2°	0.8°
2.8 GHz	3.8°	2.0°	1.4°	1.1°
3.4 GHz	142.5°	1.6°	1.4°	0.8°

**Tableau 2. Performances d'estimation simulées**





**Figure 4.**  $BCR_\phi$  (gauche),  $\alpha_{\min}$  (centre) et  $\Delta a_{RMS}(\phi, \theta)$  (droite) de l'AV *Two Season* en utilisant dans le processus d'estimation : RPC 0 (lignes 1 à 3) ou RPC 0 + RPC 4 (lignes 4 à 6) à 2.2 GHz (lignes 1 et 4), 2.8 GHz (lignes 2 et 5), et 3.4 GHz (lignes 5 et 6).

### 3.a. Sans diversité de diagramme (RPC 0)

L'étude de la  $BCR_\phi$  à 2.2 GHz permet de prédire les erreurs d'estimation dans la direction  $(\phi, \theta) = (40^\circ, 50^\circ)$  (voir Figs. 4 (a) et (c)). De même, les zones angulaires  $(\theta = 68^\circ, \phi = [30^\circ; 60^\circ])$  à 2.8 GHz peuvent aussi être identifiées (voir Figs. 4 (d) et (f)). À 3.4 GHz, les valeurs les plus élevées de  $\Delta a_{RMS}$  se situent pour des directions dans les zones angulaires autour de  $\phi = 0^\circ$  (mod  $90^\circ$ ), où le risque d'ambiguïté angulaire est maximal ( $\alpha_{\min}$  proche de  $0^\circ$ , voir Figs. 4 (h) et (i)). On constate que les erreurs d'estimation aux hautes fréquences résultent principalement d'ambiguïtés angulaires.

### 3.b. Avec diversité de diagramme (RPC 0 + RPC 4)

En accord avec la méthode utilisée pour sélectionner la diversité de diagramme, l'ajout de RPC 4 à RPC 0 permet améliorer les valeurs BCR sur toute la bande de fréquences et de réduire les erreurs d'estimation dans les zones angulaires où la précision de l'estimation du DoA était la plus faible. Les nouvelles valeurs de BCR sont considérablement diminuées. Par conséquent, l'erreur d'estimation la plus élevée dans la direction  $(\phi, \theta) = (40^\circ, 50^\circ)$  à 2.2 GHz est fortement diminuée (voir Figs. 4 (c) et (l)). De plus, cette diversité de diagramme permet également de réduire le risque d'ambiguïté angulaire, notamment à 3.4 GHz dans les zones angulaires autour de  $\phi = 0^\circ$  (mod  $90^\circ$ ) (voir Figs. 4 (h) et (q)).

Pour plus de détails sur les bénéfices apportés aux AVs par la diversité de diagramme, le lecteur intéressé pourra se référer à la publication des auteurs [7].

## 4. Conclusion

Dans cet article, les performances d'estimation d'une AV sont améliorées en employant dans le processus d'estimation une diversité de diagramme supplémentaire à celle communément employée. Une méthode basée sur la BCR a été proposée afin de la sélectionner efficacement.

## 5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la DGA (Direction Générale de l'Armement) ainsi que la région Occitanie

pour le financement de ces travaux.

## Références

- [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 EP20 120 184 835, 2013.
- [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. Duploux, C. Morlaas, H. Aubert, P. Potier, P. Pouliguen, and C. Djoma, "Reconfigurable grounded vector antenna for 3-D electromagnetic direction-finding applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 197–200, Feb 2018.
- [5] J. Duploux, C. Morlaas, H. Aubert, P. Potier, P. Pouliguen, and C. Djoma, "3D direction-of-arrival estimation using a wideband vector antenna," in *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Boston, July 2018.
- [6] R. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276–280, Mar. 1986.
- [7] J. Duploux, C. Morlaas, H. Aubert, P. Potier, and P. Pouliguen, "Wideband and reconfigurable vector antenna using radiation pattern diversity for 3-D direction-of-arrival estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, in press.