



HAL
open science

GENERATION DE FORTE PUISSANCE RAYONNEE UTILISANT LE CONCEPT MARPEM

P-E Portalier, A Siblino, J.-C Diot, E Arnaud, B Jecko

► **To cite this version:**

P-E Portalier, A Siblino, J.-C Diot, E Arnaud, B Jecko. GENERATION DE FORTE PUISSANCE RAYONNEE UTILISANT LE CONCEPT MARPEM. 21ème colloque International et Exposition sur la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM23), Jun 2023, Toulouse (FRANCE), France. p. 269-272. hal-04483566

HAL Id: hal-04483566

<https://unilim.hal.science/hal-04483566>

Submitted on 29 Feb 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

GENERATION DE FORTE PUISSANCE RAYONNEE UTILISANT LE CONCEPT MARPEM

P.-E. Portalier¹, A. Siblini², J.-C. Diot³, E. Arnaud¹, B. Jecko¹

¹Xlim – UMR CNRS 7252, 87000 Limoges, pierre-etienne.portalier@xlim.fr

²Lebanese University, Saida Liban, ali.siblini.84@hotmail.com

³CEA Gramat, 46500 Gramat, jean-christophe.diot@cea.fr

Résumé. La génération de champs EM lointains à haute puissance sur une large bande de fréquences est un défi pour les applications de Guerre électronique et Radar. Les techniques multivoies à sources « état solide » évitent les concentrations trop fortes de champ EM dans le dispositif. La technique AESA (Agile Electronically Scanned Array) est difficilement applicable sur des grandes bandes de fréquences car les éléments composant le réseau ont une trop faible bande de fréquence.

Une approche planaire appelé MARPEM (Matrice Agile Rayonnante à Pixel Elaborés en Métamatériaux) propose de construire une surface rayonnante avec une matrice d'éléments rayonnants jointifs appelés pixels. Ce principe a déjà été implémenté avec succès mais sans obtenir des diagrammes de rayonnement à symétrie de révolution.

Ce papier présente un système utilisant le principe MARPEM, large bande et permettant de générer un faisceau à symétrie de révolution en azimuth associé à de fortes puissances.

I. INTRODUCTION

Des champs lointains rayonnés de haute puissance peuvent être obtenus en utilisant une antenne multi-sources alimentée par des amplificateurs large bande GaN [1]. Cette solution distribuée ajoute les contributions d'éléments rayonnants, évitant la concentration de champs forts dans l'antenne qui apparaît lorsque qu'une seule source de forte puissance est utilisée [2][3][4][5].

Dans un tel dispositif multi-sources rayonnant, un réseau de patches (AESA) [6] est généralement utilisé pour obtenir des diagrammes de rayonnement à gain élevé, mais la bande est limitée à moins de 20 % (bande passante du patch + effets de couplage). Pour surmonter cette limitation, les antennes MARPEM construisant une surface rayonnante carrée, alimentée par des cavités rayonnantes rectangulaires jointives appelées pixels (fig1) a été proposé [7][8]. Cette approche a conduit à des dispositifs avec plus de 30% de bande passante active en fréquence et un bon rendement de surface.

Dans cet article, une antenne circulaire MARPEM est conçue avec des pixels de forme quelconque pour obtenir un diagramme de rayonnement à symétrie de révolution.

La forme circulaire permet de réduire les lobes secondaires de -13.5 dB (surface rayonnante carrée) à -17.5 dB (surface rayonnante circulaire) [9].

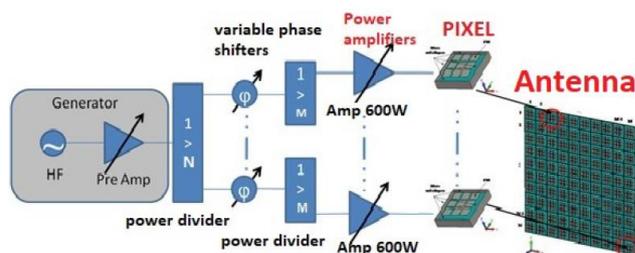


Figure 1 : Système rayonnant multi-sources

II. CONCEPTION DE L'ANTENNE

L'antenne à symétrie de révolution est déduite d'une antenne ronde MARPEM (figure 2) utilisée dans les télécommunications spatiales pour la formation de faisceaux à bande étroite [8]. Les pixels de la nouvelle antenne doivent tenir la puissance, être large bande et conserver l'uniformité du champ de surface en sortie de l'antenne globale pour obtenir un bon diagramme à symétrie de révolution.

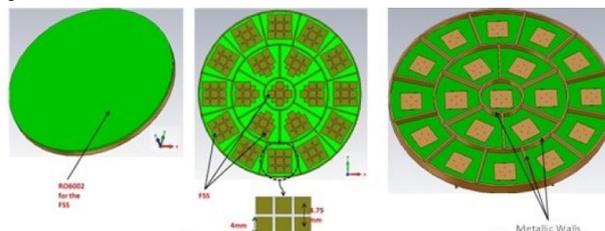


Figure 2 : Antenne ronde MARPEM à bande étroite [8]

II.1. Conception des pixels

Deux types de pixels sont conçus, l'un circulaire et l'autre trapézoïdal (fig3). La cavité constituant le pixel est excitée par un dipôle au lieu d'un patch pour augmenter la bande passante et permettre une puissance injectée plus élevée.

La bande passante de la matrice dépend de la bande passante de chaque pixel. La figure 4 présente l'évolution du paramètre S11 sur la bande S pour les deux types de pixel.

De même, la puissance acceptée par l'antenne est liée au niveau de champ électrique interne présent dans chaque pixel qui ne peut dépasser 1MV/m (champ disruptif de l'air). Une étude a montré que la puissance acceptée par un pixel dans l'air ambiant est d'environ 77 kW. Elle peut être améliorée si le pixel est plongé dans le vide, du SF6 ou dans un diélectrique.

L'uniformité du champ électrique au-dessus des pixels est optimisée sur toute la bande passante pour présenter un comportement MAPREM [8] au lieu de celui d'un réseau composé de sources ponctuelles (fig5).

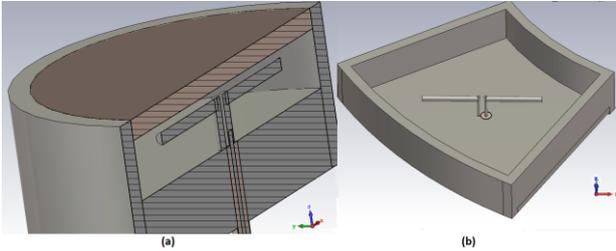


Figure 3 : vues, en coupe du pixel rond (a) et sans la FSS du pixel en trapèze (b)

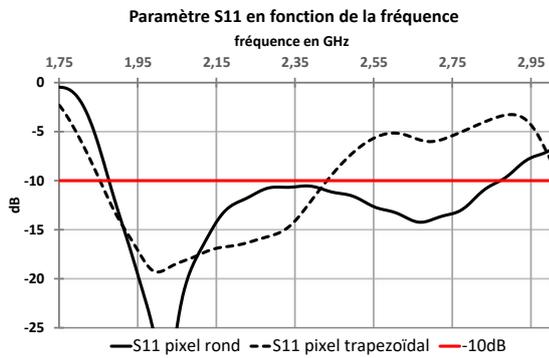


Figure 4 : Paramètre S11 des deux pixels

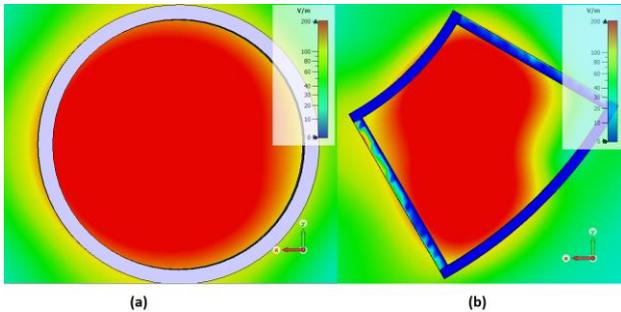


Figure 5 : champ électrique de surface ($f=2.4$ GHz) du pixel circulaire (a) et du pixel trapézoïdal (b)

L'uniformité du champ du pixel trapézoïdal est perturbée par la présence d'arêtes vives (fig5) Ce problème sera résolu par la suite.

II.2. Conception de la matrice

La matrice est construite avec un pixel circulaire au milieu et des pixels trapézoïdaux placés autour (fig6). Elle peut être optimisée en jouant sur les paramètres suivants :

a - Uniformité du champ de surface

Une antenne composée d'un pixel rond et de 18 trapèzes (fig6) présente un champ de surface peu uniforme dû aux angles aigus des pixels trapézoïdaux qui introduisent des effets de couplages destructifs (fig7).

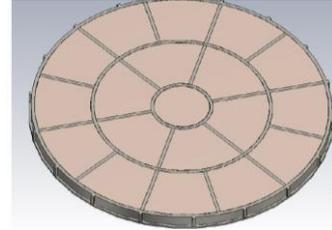


Figure 6 : antenne composée d'un pixel circulaire et de 19 pixels en trapèze

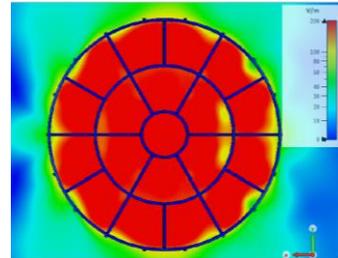


Figure 7 : Module du champ E au-dessus de l'antenne ($f=2.4$ GHz)

Introduire des angles arrondis (fig8) permet d'améliorer l'uniformité du champ de surface (fig9).

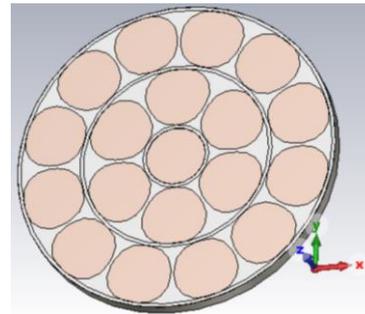


Figure 8 : antenne de 19 pixels avec des angles arrondis

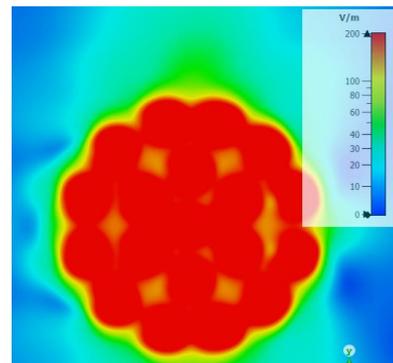


Figure 9 : Module du champ E au-dessus de l'antenne ($f=2.4$ GHz)

b - Bande de fréquence

Arrondir les angles permet aussi de considérablement améliorer la bande passante active en adaptation (Sii) de l'antenne en diminuant les couplages inter-pixels. La figure 10 montre le passage d'une antenne désadaptée à une antenne ayant une bande passante active de 26%.

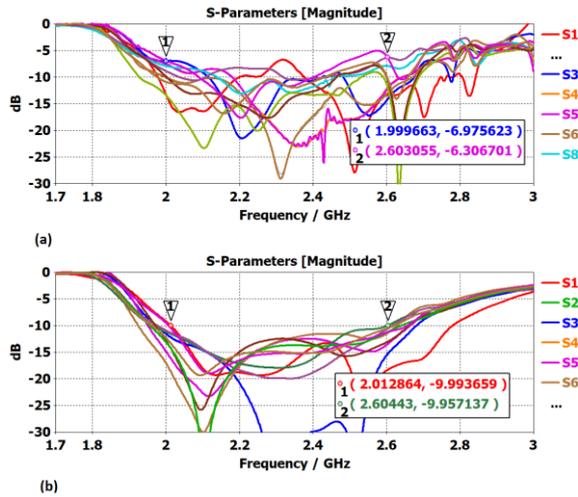


Figure 10 : Sii actifs : (a) antenne à angles vifs et (b) antenne à angles arrondis

c - Rendement de surface

Le rendement de la surface rayonnante est meilleur pour une matrice à angles arrondis par rapport à une matrice à angles vifs, passant de 85% à 93%, comme le montre la figure 11.

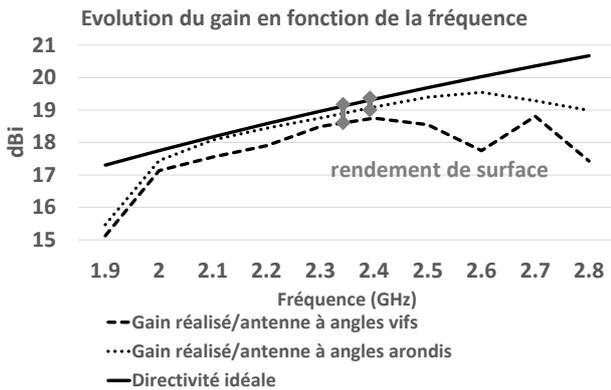


Figure 11 : Evolution du gain en fonction de la fréquence

III. APPLICATION FORTE PUISSANCE

L'antenne MARPEM est conçue pour intégrer un système de forte puissance qui doit être capable de rayonner un champ électrique d'un 1 kV/m à 100m sur une large bande de fréquence (environ 25%).

Aujourd'hui les amplificateurs de puissance GaN limitent la bande de fréquence du système rayonnant. Un bon compromis entre la puissance rayonnée et la taille de l'antenne est obtenu en travaillant dans la bande S. Les caractéristiques du système conçu sont :

- Chaque pixel est alimenté par un amplificateur capable de fournir une puissance de 600 W.
- Le niveau du champ E rayonné à une distance R est donné par l'équation (1). P_{pixel} est la puissance fournie au pixel ; G_{max} est le gain de l'antenne et n le nombre de pixel.

$$RE = \sqrt{60 \times G_{max} \times P_{pixel} \times n} \quad (1)$$

- Pour obtenir $E > 1$ kV/m à 100m avec un rendement de surface proche de 100%, 28 rangées de pixels correspondant à 271 pixels doivent être utilisées. La matrice a un gain de 31.5 dB dans la direction axiale et rayonne un champ E de 1.18 kV/m à 100m.

L'antenne conçue avec les caractéristiques précédentes est représentée sur la figure 16.

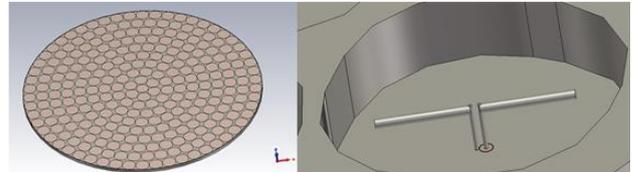


Figure 12 : Antenne composée de 271 pixels alimentés par des dipôles

- La bande active en adaptation de cette antenne est de 26.5% (fig13).
- L'évolution du gain en fonction de la fréquence montre une bande passante en rayonnement de 47% (fig14).
- Le diagramme de rayonnement se conserve dans la bande de fréquence (fig15).

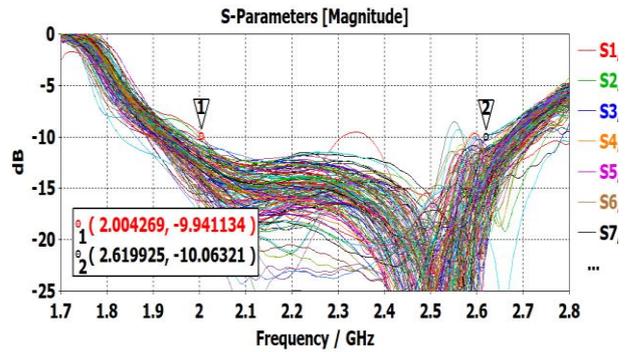


Figure 13 : Sii actifs de l'antenne à 271 pixels

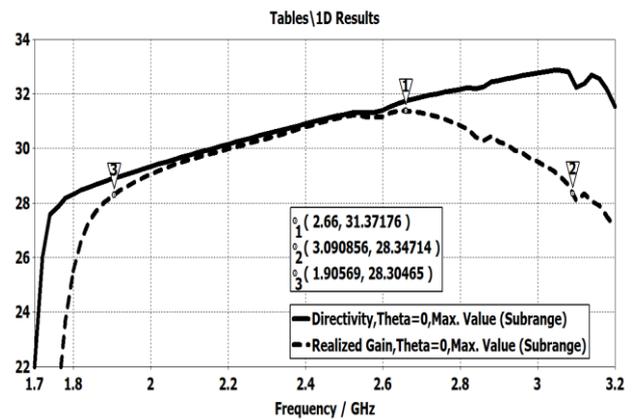


Figure 14 : Gain en dB en fonction de la fréquence

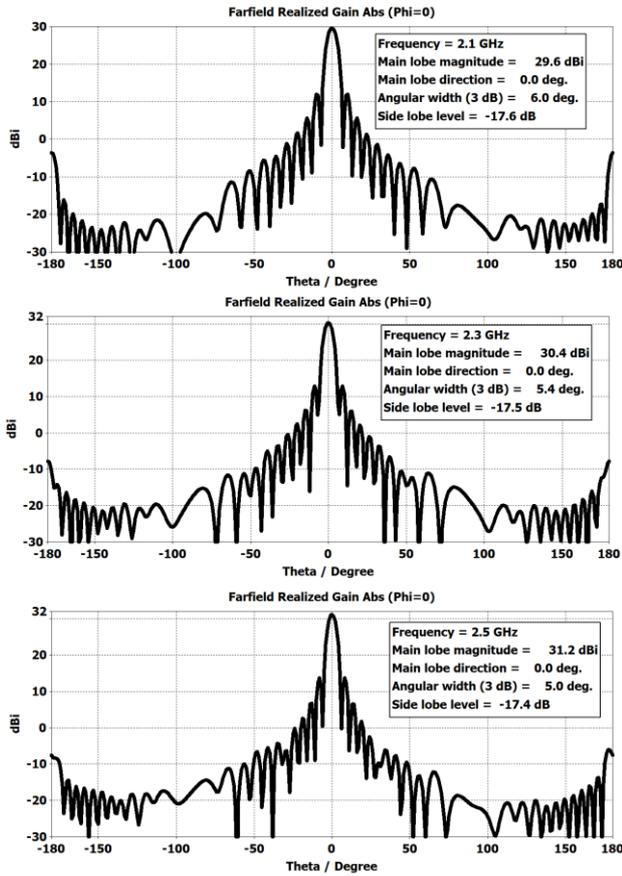


Figure 15 : diagramme de rayonnement en gain réalisé pour 3 fréquences : début (2.1GHz), milieu (2.3GHz) et fin (2.5GHz) de bande.

IV. CONCLUSION

Un système rayonnant utilisant le principe MARPEM avec des pixels de formes quelconques, générant un faisceau à symétrie de révolution est présenté dans ce papier. Avec une puissance totale injectée de 162.6 kW, le système est capable de générer un fort champ électrique (1 kV/m à 100m).

Cette technique évite la concentration de fort champ dans l'antenne et permet d'obtenir un bon rendement de surface (>90%) sur une large bande (25%).

Ce type d'antenne à symétrie de révolution diminue les lobes secondaires et est utilisable pour des applications fortes puissances de guerre électronique.

Enfin cette approche peut être étendue à des antennes conformes [8] et multifonctions [10], ainsi qu'être utilisée pour fonctionner de la bande L à la bande Ka, en polarisation circulaire et en dépointage [8] avec plus de précision qu'un réseau classique.

V. REMERCIMENT

Les auteurs souhaitent remercier le Centre CEA de Gramat qui a financé ces travaux dans le cadre d'un stage.

REFERENCES

- [1] M. Rammal, G. Reineix, X. Bonnin, G. Gauthier, and B. Jecko, "A defence system against vehicles and drones using high power microwave (hpm)," in EAPPC BEAMS MEGAGAUSS, Barritz (France), 2020.
- [2] B. Majumder, K. Krishnamoorthy, J. Mukherjee, and K. P. Ray, "Compact broadband directive slot antenna loaded with cavities and single and double layers of metasurfaces," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 64, no. 11, pp. 4595–4606, 2016. DOI: 10.1109/TAP.2016.2601346.
- [3] A. Kotnala, P. Juyal, A. Mittal, and A. De, "Investigation of cavity reflex antenna using circular patch type fss superstrate," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 42, pp. 141–161, Jul. 2012. DOI: 10.2528 / PIERB12042504.
- [4] A. Goudarzi, M. M. Honari, and R. Mirzavand, "Resonant cavity antennas for 5g communication systems: A review," Electronics, vol. 9, no. 7, 2020, ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics9071080.
- [5] J.-C. Diot, T. Tarati, B. Cadilhon, B. Cassany, P. Modin, and E. Merle, "Wideband patch antenna for hpm applications," IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 39, no. 6, pp. 1446–1454, 2011. DOI: 10.1109/TPS.2011. 2140338.
- [6] A. D. Brown, "Aesa theory," in Active Electronically Scanned Arrays: Fundamentals and Applications. 2022, pp. 19–73. DOI: 10.1002/9781119749097.ch2.
- [7] B. Jecko, M. Majed, M. Rammal, H. A. Taam, and J. Andrieu, "Beam-steering improvements using agile beam radiating surfaces," FERMAT, vol. 44, no. 3, Mar. 2021.
- [8] B. Jecko, M. Majed, S. Aija, et al., "Agile beam radiating surfaces," FERMAT, vol. 30, no. 2, Nov. 2018.
- [9] J. Darricau, Physique et théorie du radar. Feb. 2015, ISBN: ISBN978-2-954475-1-1.
- [10] M. Majed, M. Rammal, H. A. Taam, M. Mayank, J. Andrieu, and B. Jecko, "Narrow band rejection in ultrawideband pixel antennas," in EUCAP2022, 2022.