Antenne réseau à fort dépointage développée sur le concept des Antennes à Réseaux Parasites Entrelacés – Conception et caractérisation d'un démonstrateur

Marc Thevenot, Cyrille Menudier, Eric Arnaud, Olivier Maas, Faycel Fezai, Remy Lamey

▶ **To cite this version:**

Marc Thevenot, Cyrille Menudier, Eric Arnaud, Olivier Maas, Faycel Fezai, et al.. Antenne réseau à fort dépointage développée sur le concept des Antennes à Réseaux Parasites Entrelacés – Conception et caractérisation d'un démonstrateur. 22èmes Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges, France. hal-03877227

HAL Id: hal-03877227
https://hal.science/hal-03877227

Submitted on 29 Nov 2022

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.

XXII[èmes] Journées Nationales Microondes
8-10 juin 2022 – Limoges

Antenne réseau à fort dépointage développée sur le concept des Antennes à Réseaux Parasites Entrelacés – Conception et caractérisation d'un démonstrateur

R. Lamey[1,2], M. Thevenot[1], C. Menudier[1], E. Arnaud[1], O. Maas[2], F. Fezai[2]

[1] *Laboratoire XLIM, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges*
[2] *Thales LAS France SAS, Rue Pierre Gilles de Gennes, 91470 Limours*
remy.lamey@thalesgroup.com

Résumé *– Nous présentons dans cet article un réseau de 84 éléments basé sur le concept des antennes à réseaux parasites entrelacés (IPAA, pour Interleaved Parasitic Arrays Antenna). Les performances mesurées pour ce démonstrateur sont en forte adéquation avec les simulations réalisées et un coefficient de réflexion actif inférieur à -13dB a été mesuré pour les éléments centraux du réseau sur toute sa plage de fonctionnement.*

1. Introduction

Les Taux d'Ondes Stationnaires actifs (TOS actifs) sont les principaux défis de tous les concepteurs de réseaux d'antennes à balayage électronique. Ces TOS actifs, évalués aux ports d'accès de chaque élément rayonnant, impactent directement le fonctionnement des chaînes d'émission qu'il faut parfois protéger par des isolateurs. Pour une antenne en réception, des mauvais TOS actifs seront synonyme de pertes d'efficacité du réseau.

Nous proposons dans cet article la caractérisation expérimentale d'un réseau de 84 éléments qui a été développé suivant le concept original des antennes à réseaux parasites entrelacés [1] (en anglais IPAA : Interleaved Parasitic Arrays Antenna). Nous cherchons alors à valider le concept d'optimisation, par la mesure, pour des réseaux finis de tailles intermédiaires.

Cet article de conférence est divisé en deux parties. La première décrit le concept et l'architecture de la cellule unitaire utilisée pour la réalisation du démonstrateur. La seconde partie détaille le démonstrateur réalisé avant de proposer une comparaison entre les performances simulées et mesurées illustrant ainsi les capacités de conception des réseaux parasites entrelacés.

2. Conception d'un démonstrateur de réseau composé de 84 éléments

2.a. Concept des réseaux entrelacés

Nous avons proposé dans [1] un nouveau concept de réseaux d'antennes actives. Ce concept, appelé antenne à réseaux parasites entrelacés (Figure 1), consiste en l'ajout de réseaux d'éléments parasites au sein du réseau pour optimiser et contrôler le TOS actif sur toute sa gamme de fonctionnement angulaire et fréquentielle.

L'originalité de ce concept, en plus de l'utilisation de réseaux parasites pour contrôler le TOS actif, se trouve dans le mode de résolution du problème que nous proposons. En effet, nous cherchons le point de fonctionnement optimal pour deux grandeurs simultanément : les charges réactives jX_k appliquées aux réseaux parasites et les impédances générateur Zg appliqués aux réseaux à optimiser.

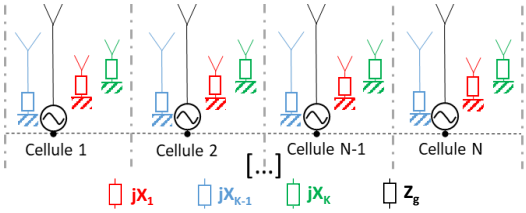


Figure 1. Schéma de principe des antennes à réseaux parasites entrelacés

L'optimisation de ces grandeurs permet de contrôler les interactions dans et entre les cellules. En effet, en changeant les interactions et recombinaisons des ondes couplées dans le réseau, nous minimisons le TOS actif, grâce au processus de synthèse détaillé dans [1]..

2.b. Cellule unitaire utilisée

La cellule unitaire a été optimisée pour fonctionner dans la bande 5G entre 3.4GHz et 3.8GHz (11%). Une maille triangulaire et un pas de 0.53λ ont été utilisés afin d'éviter l'apparition de lobes de réseaux dans la gamme de dépointage qui s'étend du dépointage zénithal (θ_0=0°) à un très fort dépointage de θ_0=70° quel que soit le plan azimutal (i.e. $\varphi \in [0°; 360°]$). Tous les détails concernant la structure rayonnante sont donnés dans [1]. Une illustration de la cellule est donnée en Figure 2.

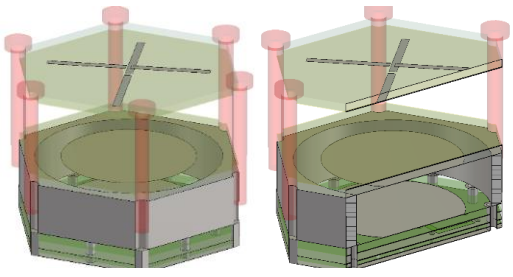


Figure 2. Cellule unitaire utilisée

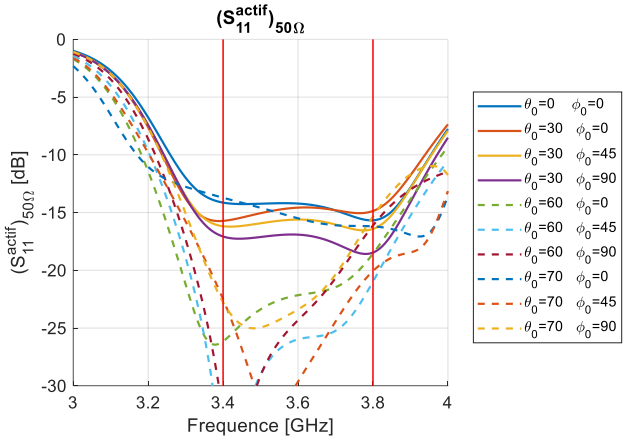


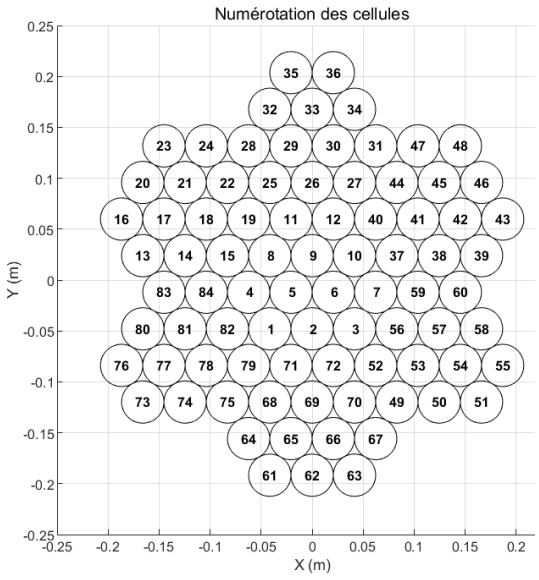
Figure 3. Coefficient de réflexion actif de la cellule – simulation réseau infini formalisme de Floquet

Les performances de la cellule en réseau infini sont données dans la Figure 3. Le coefficient de réflexion actif de la cellule est maintenu sous -13.7dB pour toute la gamme de fonctionnement du réseau en considérant la cellule dans un réseau infini. Ces performances théoriques sont excellentes au vu de l'importante gamme de dépointage du réseau.

3. Comparaison des performances simulées et mesurées d'un réseau de 84 éléments

La cellule unitaire précédemment décrite a été prototypée sous la forme de tuiles de 12 éléments chacune. Sept de ces tuiles ont été assemblées afin de former un réseau de 84 éléments (Figure 4).

L'objectif de cette section est de montrer que le concept d'antennes à réseaux parasites entrelacés permet de concevoir des cellules optimisées pour des grands réseaux ainsi que de montrer les capacités de simulations de grands réseaux du laboratoire Xlim grâce à une méthodologie de reconstruction de matrice S de réseaux finis à partir d'un modèle périodique [2].



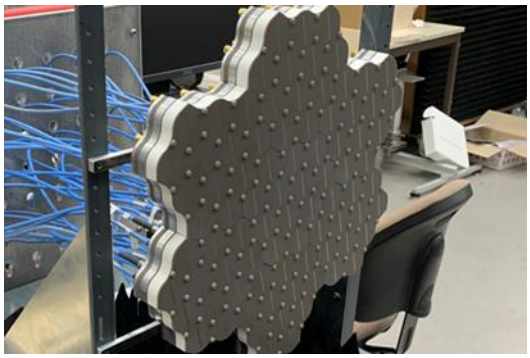


Figure 4. Numérotation des cellules du réseau et photo de ce dernier sur le banc de mesure

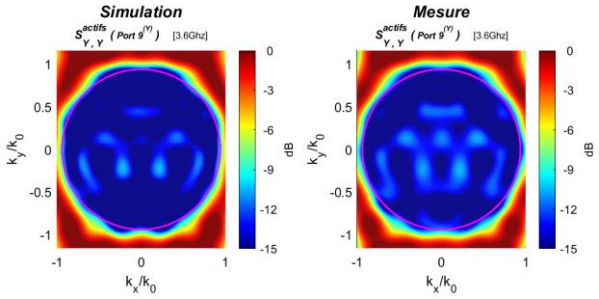


Figure 5. Distribution des coefficients de réflexion actifs de la cellule n°9 en fonction des vecteurs d'ondes k_x et k_y. (cercle violet : $\theta = 70°$)

La Figure 5 montre la comparaison entre mesures et simulations pour une cellule centrale du réseau. On voit clairement que les performances simulées et mesurées sont très proches et que ces dernières montrent un coefficient de réflexion actif maintenu sous les -13dB sur la majeure partie de la gamme de fonctionnement du réseau. Cette cellule illustre un cas idéal puisqu'elle est fortement environnée quelle que soit la direction azimutale de pointage.

Nous allons dans les Figures 6 et 7, détailler les distributions des coefficients de réflexion actifs de cellules situées à divers endroits représentatifs de tous les environnements du réseau.

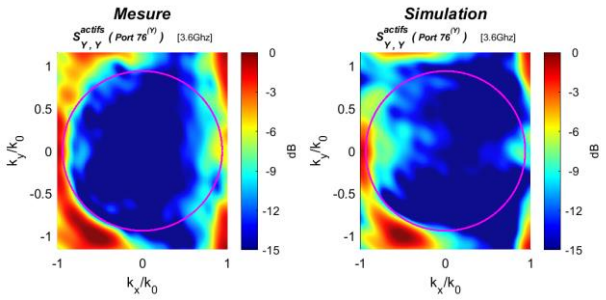


Figure 6. Distribution des coefficients de réflexion actifs de la cellule n°76 en fonction des vecteurs d'ondes k_x et k_y. (cercle violet : $\theta = 70°$)

La Figure 6 présente la distribution des coefficients de réflexion actif pour une cellule située sur la façade ouest du réseau (cellule 76). Cette dernière est très mal environnée, ce qui se voit sur les coefficients de réflexion actifs en comparant à la Figure 5.

Ainsi, des remontées du coefficient de réflexion actif se retrouvent pour certaines directions de dépointage avec des remontées supérieurs à -6dB pour les dépointages les plus important dans le plan $\phi = 0°$.

Malgré ces quelques fortes remontées du coefficient de réflexion actif, la majorité des directions de pointage présentent un coefficient de réflexion actif minimal (zone bleu foncée). De plus, les directions présentant les niveaux les plus dégradés ont été prédites par la simulation (forts dépointages en élévation autour de $\phi = 0° \; et \; \phi = 180°$).

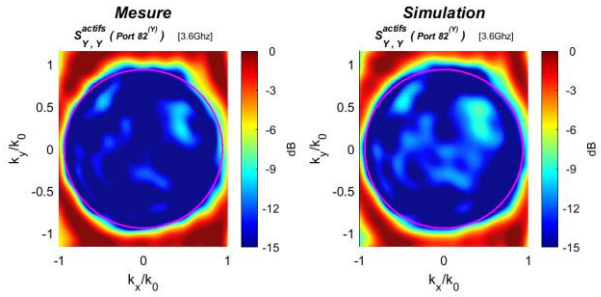


Figure 7. Distribution des coefficients de réflexion actifs de la cellule n°82 en fonction des vecteurs d'ondes k_x et k_y. (cercle violet : $\theta = 70°$)

La Figure 7 montre ce qui se passe pour une cellule « médiane » du réseau. Cette cellule est représentative de la majorité des cellules puisqu'elle n'est pas centrale mais semble convenablement environnée. En étudiant la distribution des coefficients de réflexion actifs, on peut voir une de remontée de ce dernier sur une plage de dépointage intermédiaire. Ces remontées sont dues à la finitude du réseau mais se limitent à -9dB et leur impact sur les performances finales du réseau sont donc limitées.

Les 3 distributions de coefficient de réflexion actif (Fig. 5 à 7) ont permis de montrer que le réseau fonctionne de manière proche de l'optimal (coefficient de réflexion actif < -10 dB) sur la majeure partie du spectre angulaire avec des dégradations visibles uniquement sur les éléments les plus au bord du réseau.

Les figures 8 et 9 donnent une autre représentation du fonctionnement du réseau grâce aux cartographies des coefficients de réflexion actifs. Ces dernières correspondent à un instantané du réseau montrant les niveaux des coefficients de réflexion actif des cellules pour une fréquence et une direction de pointage données.

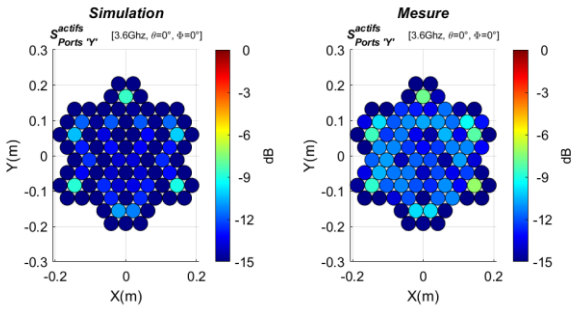


Figure 8. Cartographie des coefficients de réflexion actifs : $< \theta = 0°; \phi = 0° >$ @ 3.6 GHz

La Figure 8 représente la cartographie des coefficients de réflexion actif pour le dépointage zénithal ($\theta = 0°, \phi = 0°$) à 3.6 GHz. On y voit que les différentes cellules du réseau présentent un coefficient de réflexion actif optimal. Seules 3 cellules présentent une remontée autour de -8dB qui s'expliquant par la présence d'effets de structure liées à la découpe du réseau. En effet, la forme de la tuile créée des environnements pouvant causer ce genre de perturbations.

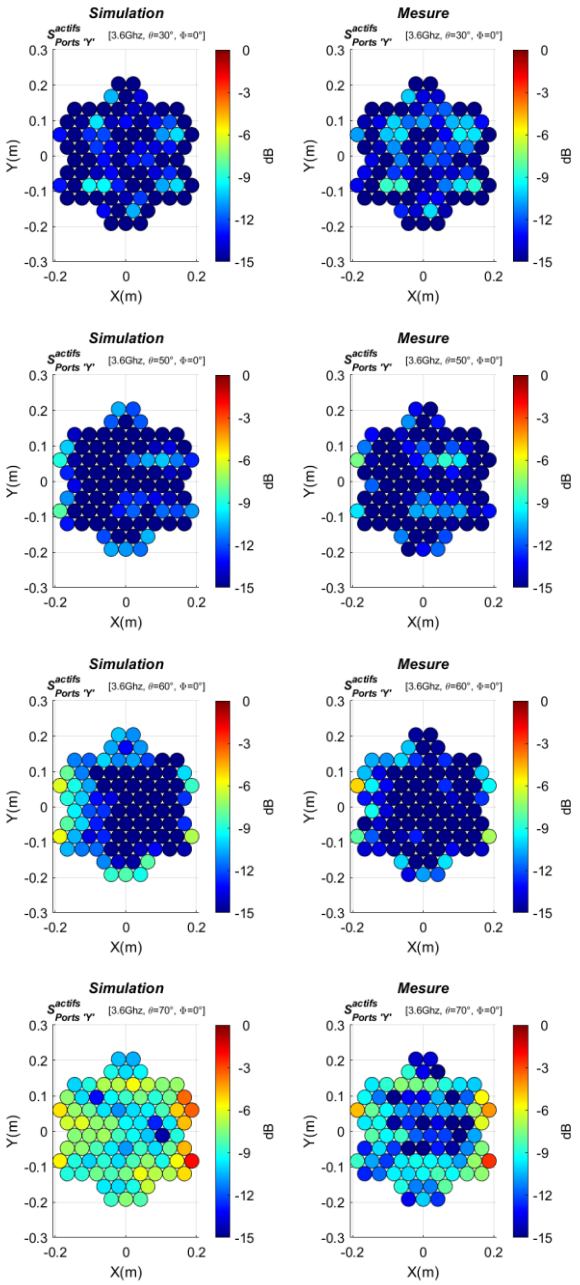


Figure 9. Cartographie des coefficients de réflexion actifs : $< \theta = 30°, 50°, 60°, 70°; \phi = 0° >$, 3.6 GHz

La figure 9 montre 4 dépointages dans le plan H ($\theta = 30°, 50°, 60°, 70°$). Les dépointages les plus faibles ($\theta = 30°, 50°$) ont un comportement en terme de coefficient de réflexion actif se rapprochant du dépointage zénithal (Fig. 8). Les dépointages les plus importants ($\theta = 60°, 70°$) voient apparaître des perturbations se limitant

principalement aux bords du réseau. Ces perturbations pourront se gérer notamment par la gestion des pondérations d'excitation qui limiteront l'impact de ces éléments.

La figure 10 montre 4 dépointages dans le plan E ($\theta = 30°, 50°, 60°, 70°$). Contrairement au plan H (Fig. 9) , seul le dépointage le plus important présente une dégradation de quelques éléments de bord avec 2 éléments sur 84 dans la mesure qui présentent de fortes remontées de coefficient de réflexion actif (autour de -5dB).
Les autres directions de pointage présentent des coefficients de réflexion actif en adéquation avec l'optimisation réalisée.

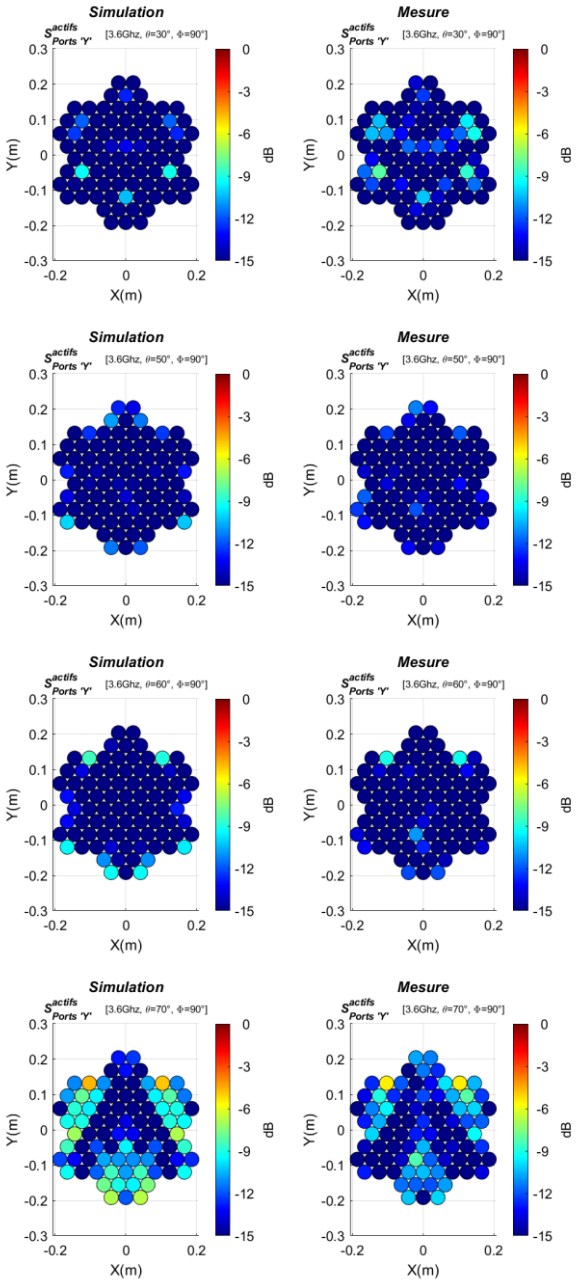


Figure 10. Cartographie des coefficients de réflexion actifs : $< \theta = 30°, 50°, 60°, 70°; \phi = 90° >$, 3.6 GHz

Les figures 9 et 10 montrent aussi une forte corrélation entre simulations et mesures. En effet, les éléments présentant des dégradations du coefficient de réflexion actif ont été prédit par la simulation. Il est ainsi possible de réfléchir à des solutions pour gérer ces remontées en amont de la fabrication du réseau.

4. Conclusion

Nous avons proposé dans ce papier un démonstrateur de 84 éléments basé sur une cellule unitaire optimisée grâce au concept d'antennes à réseaux parasites entrelacés. Cette cellule a été conçue pour être capable d'adresser de forts dépointages allant jusque 70° en élévation sur une bande de 11% (3.4 – 3.8 GHz).

Les mesures réalisées sur ce démonstrateur sont en accord avec les simulations. Ces résultats montrent que la méthodologie de conception ainsi que les solutions technologiques mises en œuvre sont parfaitement maitrisées.

Références

[1] R. Lamey et al. «Interleaved Parasitic Arrays Antenna (IPAA) for Active VSWR Mitigation in Large Phased Array Antennas With Wide-Angle Scanning Capacities» *IEEE Access,* pp. 121015 - 121030, 2021.

[2] B. Lesur et al. «A Large Antenna Array for Ka-Band Satcom-on-the-Move Applications - Accurate Modeling and Experimental Characterization» *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* vol. 66 n°9, pp. 4586-4595, 2018.