

# Mise en Œuvre d’un Couplage Correcteur pour Réduire les Effets de l’Onde de Surface dans un Réseau à Balayage

A. Ayissi Manga<sup>1</sup>, R.Gillard<sup>1</sup>, R.Loison<sup>1</sup>, I.Le Roy-Naneix<sup>2</sup>, C.Renard<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Institut d’Electronique et de Télécommunications de Rennes/IETR, INSA Rennes, France

<sup>2</sup> : Thales Systèmes Aéroportés, Elancourt, France  
aurelien.ayissi-manga@insa-rennes.fr

## Résumé

Ce papier présente une solution permettant d’étendre la gamme de dépointage d’un réseau à balayage dont les performances sont limitées par un couplage par onde de surface. La solution proposée repose sur l’introduction d’un mécanisme de couplage supplémentaire dans la structure, et dont le but est de compenser les effets néfastes de l’onde de surface. Ce « couplage correcteur » est implémenté à l’aide de lignes micro-rubans reliant les sources du réseau.

## 1. Introduction

Le contexte de ce papier est celui des antennes réseaux à balayage. La structure étudiée est un réseau de trois patches alimentés par des modules T/R (amplificateurs, déphaseurs) localisés sous le plan de masse. Sa géométrie est détaillée sur la Figure 1.

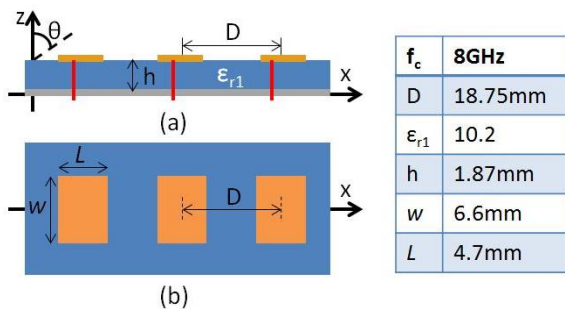


Figure 1. Géométrie de l’antenne étudiée.

Bien qu’elle respecte la contrainte de non-apparition du lobe de réseau ( $D = 0.5\lambda_0$  à la fréquence de fonctionnement  $f_c = 8\text{GHz}$ ), la structure supporte tout de même une onde de surface dont la constante de propagation coïncide avec celle du mode de Floquet fondamental du réseau infini correspondant, pour un certain angle de dépointage  $\theta_{\max}$ . Dans le cas d’un réseau linéaire,  $\theta_{\max}$  peut être estimé à l’aide de la formule suivante [1]:

$$\theta_{\max} = \sin^{-1}[(2\pi/D - \beta_s)/k_0] \quad (1)$$

Où  $k_0$  est le nombre d’onde dans le vide, et  $\beta_s$  la constante de propagation de l’onde de surface. Dans le cas présent,  $\theta_{\max} = 70^\circ$ . Lorsque le réseau à balayage est suffisamment grand, dépointer dans la direction  $\theta_{\max}$  entraîne une direction aveugle, phénomène par lequel la puissance communiquée à une source du réseau n’est pas rayonnée mais recouplée vers les autres sources. Dans le cas d’un réseau plus petit, sans atteindre une réflexion totale de la puissance transmise aux sources, dépointer vers  $\theta_{\max}$  entraîne une augmentation significative du

coefficient de réflexion actif. L’effet du couplage par onde de surface est illustré sur la Figure 2, qui représente l’évolution des coefficients de réflexion actifs des sources du réseau étudié, en fonction de l’angle de dépointage,  $\theta_{\text{scan}}$  (simulation sur Momentum©).

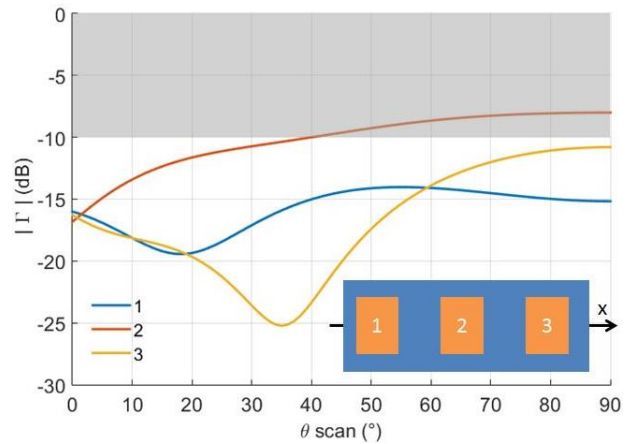


Figure 2. Performances initiales.

Du fait du couplage mutuel entre les éléments rayonnants, l’adaptation d’impédance varie de manière importante avec  $\theta_{\text{scan}}$ . Dans le cas des sources 2 et 3, qui sont les plus impactées par l’onde de surface lorsque  $\theta_{\text{scan}}$  tend vers  $\theta_{\max}$ ,  $|\Gamma(\theta_{\text{scan}})|$  esquisse déjà une augmentation qui annonce la direction aveugle des réseaux plus importants. La gamme de dépointage opérationnelle, sur laquelle  $|\Gamma(\theta_{\text{scan}})| < -10\text{dB}$  pour les trois sources du réseau, est ainsi limitée à  $[0, 40^\circ]$ .

Les méthodes conventionnelles de réduction des effets du couplage mutuel sont basées sur la réduction des interactions électromagnétiques entre sources du réseau, par l’usage de structures à bande électromagnétique interdite, de plans de masse usinés ou de blindages par exemple [2]. A l’opposé, on peut aussi chercher à compenser les effets du couplage initial en implémentant un mécanisme de couplage supplémentaire entre les sources du réseau. Cette solution implique l’ajout de structures de connexion, soit au niveau du circuit d’alimentation des sources, soit au niveau des sources elles-mêmes [2] [3].

Dans ce papier, cette approche basée sur le « couplage correcteur » est utilisée pour étendre la gamme de dépointage du réseau étudié. La section 2 explique le principe de fonctionnement de la solution proposée, et sa mise en œuvre est détaillée dans la section 3.

## 2. La solution proposée

Le couplage correcteur est introduit dans l’antenne au

moyen de lignes micro-rubans, connectant les patches deux par deux sur leurs bords non rayonnants, pour ne pas perturber la fréquence de fonctionnement initiale. Les interfaces de connexion entre les sources et les lignes micro-rubans alternent entre les bords supérieurs et inférieurs des patches, comme illustré sur la Figure 3. La largeur des lignes est fixée à  $250\mu\text{m}$ . L’approche consiste à régler  $\phi_1$  et  $\phi_2$ , les longueurs électriques des deux lignes correctrices, pour améliorer l’adaptation d’impédance des sources sur la gamme angulaire. En pratique, cela consiste à ajuster les longueurs physiques des lignes micro ruban,  $L_1$  et  $L_2$ . Dans la situation canonique présente, on cherche à étendre la gamme de dépointage jusqu’à  $65^\circ$ .

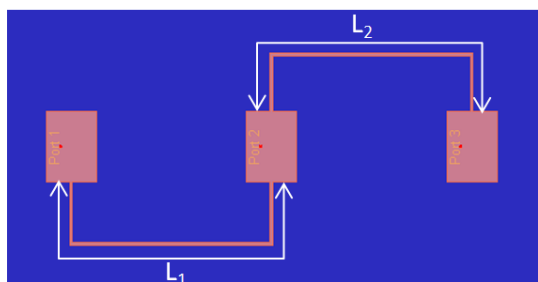


Figure 3. La topologie révisée.

Le couple  $(\phi_1, \phi_2)$  optimal est donc celui qui respecte la contrainte  $|\Gamma(\theta_{\text{scan}})| < -10\text{dB}$  sur la gamme angulaire  $[0, 65^\circ]$  tout en minimisant  $|\Gamma(\theta_{\text{scan}})|$  pour les trois sources. Il est déterminé analytiquement. La structure d’étude initiale est exportée sous Matlab®, où  $(\phi_{1\text{opt}}, \phi_{2\text{opt}})$  est obtenu par inspection de l’espace des solutions  $(\phi_1, \phi_2)$ . Cette optimisation par inspection n’est évidemment possible que du fait de la taille réduite du réseau.

### 3. Résultats et discussion

L’approche analytique de la section précédente est appliquée au réseau de trois patches. Afin de donner un aperçu des capacités d’amélioration de la solution proposée, une représentation graphique de l’espace  $(\phi_1, \phi_2)$  est proposée sur la Figure 4. Elle illustre certaines des propriétés des coefficients de réflexion actifs des différentes sources, en fonction des longueurs électriques des lignes de connexion.

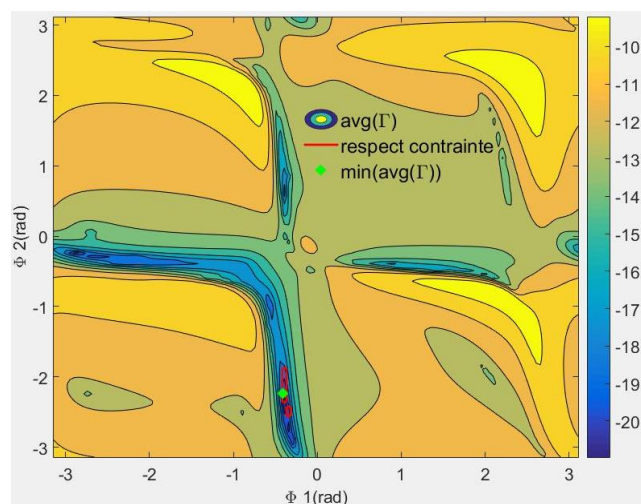


Figure 4. L’espace des solutions  $(\phi_1, \phi_2)$ .

L’échelle de couleur représente la valeur moyenne des coefficients de réflexion actifs (en dB) des trois sources sur la gamme angulaire  $[0, 65^\circ]$ . Le contour rouge ceinture la zone au sein de laquelle la contrainte  $|\Gamma(\theta_{\text{scan}})| < -10\text{dB}$  est respectée sur cette même gamme de dépointage. Enfin, le losange vert indique  $(\phi_{1\text{opt}}, \phi_{2\text{opt}})$ .

La Figure 5 donne les courbes des coefficients de réflexion actifs obtenus analytiquement sur Matlab pour  $(\phi_{1\text{opt}}, \phi_{2\text{opt}})$  (lignes pointillées). En comparaison des performances initiales, la solution proposée permet d’étendre la gamme de dépointage de plus de  $25^\circ$ . La source 2 est dorénavant adaptée sur  $[0, 65^\circ]$ , et les sources 1 et 3 sont quant à elles adaptées sur toute la plage  $[0, 90^\circ]$ .

L’étape finale de la caractérisation de la solution proposée est sa simulation sur Momentum. Les résultats de cette analyse sont également représentés sur la Figure 5 (lignes pleines).

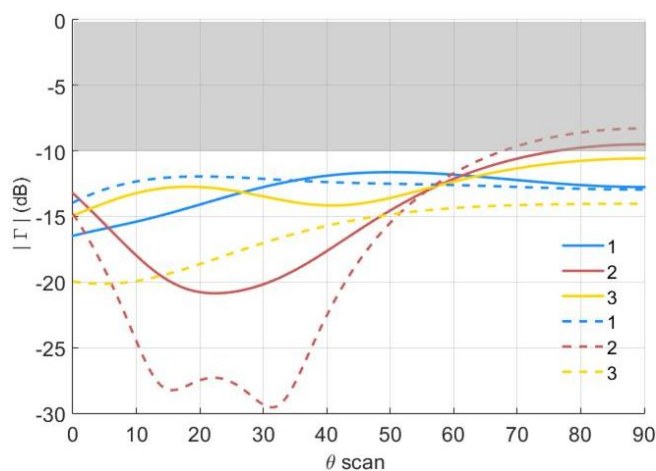


Figure 5. Performances avec correction.

Dans le calcul de la solution analytique sous Matlab, les lignes sont considérées idéales. Hors, dans la pratique elles sont coudées (Figure 3) et cette différence, qui se traduit par l’existence d’effets électromagnétiques supplémentaires dans la structure physique, explique la différence entre les résultats analytiques et simulés. Dans le cas présent, la différence est malgré tout faible et les deux jeux de courbes demeurent très proches.

### 4. Conclusion

L’implémentation du couplage correcteur, par l’ajout de lignes micro-rubans reliant les sources du réseau étudié, permet in fine d’étendre sa gamme de dépointage de  $30^\circ$ . Le principe de la solution proposée est validé, et les travaux futurs incluront l’analyse de l’effet des lignes sur les pertes et le rayonnement du réseau.

### 6. Bibliographie

- [1] A. K. Bhattacharyya, Phased Array Antennas, John Wiley and Sons, Inc, 2006, pp.104.
- [2] S.M Amjadi, K. Sarabandi "Mutual coupling mitigation in broadband multiple-antenna communication systems using feedforward technique", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol 24, no.5, pp.1642-1652, May 2016.
- [3] J.Andersen and H. Rasmussen, "Decoupling and descattering networks for antennas", IEEE Trans.Antennas Propag., vol 24, pp.841-846, Nov. 1976