

Analyse d'Antennes Imprimées en Réseaux Périodiques Monocouches Avec Modélisation du Couplage

M.F. Bendahmane, F.T. Bendimerad et N. Boukli-Hacène
Laboratoire de Télécommunications, Département d'Electronique
Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou-Bakr Belkaïd-Tlemcen
BP 230, Pôle Chetouane, 13000 Tlemcen, Algérie
E-mail : fawzi_76@hotmail.com

Résumé– Dans ce travail nous présentons une analyse des antennes imprimées en réseaux périodiques avec modélisation du couplage entre les éléments rayonnants alimentés par sondes coaxiales. Le couplage est modélisé par une approche dite élément par élément.

Mots clés– Réseau d'antennes, antenne imprimée, couplage, méthode élément par élément, diagramme de rayonnement.

I. INTRODUCTION

Dans le domaine des télécommunications, les utilisateurs ont tendance à favoriser l'utilisation de dispositifs légers, de faible coût et peu encombrants. Les antennes imprimées permettent largement de répondre à ces exigences puisqu'elles utilisent une technologie basée sur le procédé photolithographique étendu au domaine des hyperfréquences. La structure de ces antennes conformables et souples permet de les intégrer facilement dans divers systèmes de télécommunications.

Le choix de la forme de l'élément rayonnant dépend de certains facteurs tel que : la puissance rayonnée, la fréquence d'utilisation, le type de polarisation, le gain, ainsi que la bande passante de l'élément rayonnant.

L'association en réseau de plusieurs antennes imprimées permet de compenser les limitations des caractéristiques d'une antenne seule et d'améliorer leurs performances en gain et rayonnement. L'un des principaux avantages des réseaux est leur aptitude à effectuer un balayage du faisceau dans certaines directions de l'espace. Le procédé consiste à alimenter chaque source avec une amplitude et une phase que l'on contrôle électroniquement. Cela évite, comme dans une antenne à réflecteur d'utiliser des systèmes de rotations mécaniques, lourds, et dont l'inertie importante empêche une exploration rapide de l'espace.

La méthode la plus simple d'étudier cette association en réseau d'antennes imprimées est d'admettre que tous les éléments rayonnants sont identiques et que chaque élément en présence des autres possède le même diagramme de rayonnement. Le rayonnement global du réseau sera ainsi le résultat de la combinaison des rayonnements des sources

élémentaires, tout en négligeant le couplage entre les éléments. Ce type d'analyse ne sera valable que pour des réseaux où les éléments sont suffisamment distants les uns des autres.

Or, en réalité, tout corps rayonnant placé au voisinage d'un autre corps métallique, qui peut être lui-même rayonnant, voit son comportement électromagnétique se modifier et même s'altérer. Ainsi, dans une mise en réseau d'antennes imprimées les interactions électromagnétiques entre les éléments rayonnants se manifestent par la modification de la répartition des courants de surface, ce qui engendre un changement des caractéristiques radioélectriques de l'antenne et du réseau (diagramme de rayonnement, impédance d'entrée, rendement, gain, etc...). La méthode classique d'analyse, qui néglige l'effet de couplage, reste toutefois valable pour certaines configurations, et permet d'obtenir des résultats rapides.

Dans cette étude, nous proposons une analyse d'antennes imprimées disposées en réseaux périodiques infinis monocouches, fonctionnant en émission et alimentées par des sondes coaxiales, tout en tenant compte de l'effet de couplage. Le couplage entre les éléments est modélisé par une méthode dite élément par élément [1][2]. L'antenne utilisée dans cette étude a une forme rectangulaire qui est simple à étudier due à la simplicité des formes des équations modélisant le rayonnement. Les résultats obtenus sont comparés à ceux de l'analyse des réseaux d'antennes imprimées sans effet de couplage.

II. MODELISATION DU COUPLAGE ENTRE ELEMENTS

Nous considérons un réseau plan imprimé sur un substrat de permittivité ϵ_r et d'épaisseur h (Fig. 1). Les $N \times M$ éléments rayonnants du réseau sont de forme rectangulaire et de dimensions w_x et w_y , N et M étant respectivement le nombre d'éléments selon la direction Ox et Oy .

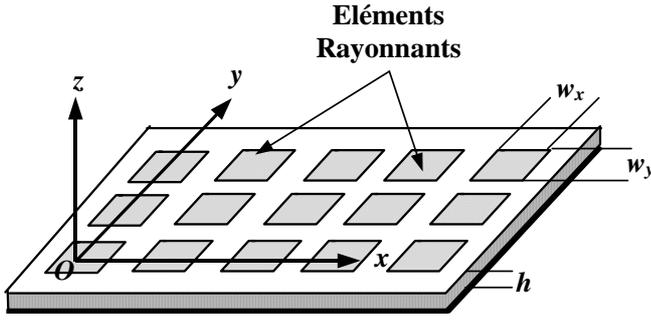


Fig. 1. Réseau plan d'antennes imprimées.

Contrairement à la méthode classique où on néglige le couplage qui peut exister entre les éléments rayonnants, l'approche dite élément par élément permet d'analyser des réseaux d'antennes imprimées dans lesquels les éléments rayonnants sont proches les uns des autres et dont leur disposition est arbitraire, en tenant compte des couplages qui pourraient exister. Cette méthode consiste à évaluer toutes les interactions électromagnétiques qui peuvent exister entre les éléments du réseau.

Le principe de cette méthode est basé sur la transposition des équations de Maxwell dans le domaine spectral, sur l'écriture des conditions de continuité sur chaque interface ainsi que sur l'écriture de l'équation de Helmholtz pour chaque milieu de propagation. Ces relations permettent d'obtenir les fonctions de Green [1] qui lient les champs aux courants qui les génèrent sur les interfaces séparant les différents milieux de propagation. La méthode des moments est utilisée pour déterminer les courants de surface sur chaque élément rayonnant [3][2].

- Diagramme de rayonnement

Dans le cas pratique où les éléments rayonnants sont alimentés par des courants de même amplitude et de même phase, les courants de surface créés sur chaque élément sont obtenus par application de la méthode des moments de Galerkin's [3]. Celle-ci permet la résolution de l'équation matricielle suivante :

$$[Z] [I] = [V] \quad (1)$$

dans laquelle :

[Z] est la matrice d'impédance mutuelle qui traduit le couplage entre les éléments

[V] : vecteur excitation.

Le champ rayonné par chaque élément est obtenu grâce à la théorie des ouvertures planes qui relie le champ rayonné à grande distance à la transformée de Fourier du champ dans l'ouverture.

Dans un repère sphérique, le champ rayonné par un élément d'ordre i du réseau est alors :

$$\vec{E}_{il}(r, \theta, \phi) = \vec{E}_{il\theta} + \vec{E}_{il\phi} \quad (2)$$

avec :

$$E_{il\theta}(r, \theta, \phi) = 2j\pi e^{-jk_0 r} \frac{\begin{bmatrix} \cos\phi E_{tx}(\alpha, \beta, h) + \\ \sin\phi E_{ty}(\alpha, \beta, h) \end{bmatrix}}{k_0 r} \quad (3)$$

et

$$E_{il\phi}(r, \theta, \phi) = 2j\pi e^{-jk_0 r} \cos\theta \frac{\begin{bmatrix} \cos\phi E_{ty}(\alpha, \beta, h) - \\ \sin\phi E_{tx}(\alpha, \beta, h) \end{bmatrix}}{k_0 r} \quad (4)$$

où $E_{tx}(\alpha, \beta, h)$ et $E_{ty}(\alpha, \beta, h)$ représentent les transformées de Fourier des composantes tangentielles du champ électrique pour chaque élément rayonnant du réseau. Leurs expressions sont fonction de l'amplitude des courants obtenus sur chaque élément et des fonctions de Green et elles sont données par les relations suivantes :

$$E_{tx}(\alpha, \beta, h) = -\frac{jZ_0}{k_0} \sum_{j=1}^{ni} I_j \begin{bmatrix} Q_{x3x1}(\alpha, \beta, h) F_{jx}(\alpha, \beta) + \\ Q_{x3y1}(\alpha, \beta, h) F_{jy}(\alpha, \beta) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$E_{ty}(\alpha, \beta, h) = -\frac{jZ_0}{k_0} \sum_{j=1}^{ni} I_j \begin{bmatrix} Q_{y3x1}(\alpha, \beta, h) F_{jx}(\alpha, \beta) + \\ Q_{y3y1}(\alpha, \beta, h) F_{jy}(\alpha, \beta) \end{bmatrix} \quad (6)$$

où Q sont les fonctions de Green [4][3].

Le champ total rayonné par le réseau est la somme des $(N \times M)$ champs élémentaires. Son expression s'écrit donc :

$$\vec{E}(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^M \vec{E}_{il}(\theta, \phi) e^{jk_0(x_i \sin\theta \cos\phi + y_l \sin\theta \sin\phi)} \quad (7)$$

où (x_i, y_l) représente la position de l'élément rayonnant d'ordre (i, l) .

III. APPLICATION

Dans cette partie, nous présentons une application à l'analyse des antennes imprimées en réseaux périodiques monocouches, rectiligne et plan. Dans le cas d'un réseau rectiligne, le champ total rayonné s'écrit sous la forme :

$$\vec{E}(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\theta, \phi) e^{jk_0(x_i \sin\theta \cos\phi)}$$

La figure 2 représente le diagramme de rayonnement d'un réseau rectiligne périodique d'antennes alimentées par sonde coaxiale. Les éléments rayonnants sont de forme carrée telle que $w_x = w_y = 1.89\text{cm}$. Les caractéristiques du substrat sont $h = 1.56\text{mm}$, $\epsilon_r = 4.55$ et $tg\delta = 0.025$. La fréquence de travail est de 9,022 GHz. Le pas du réseau est $a = 15\text{mm}$.

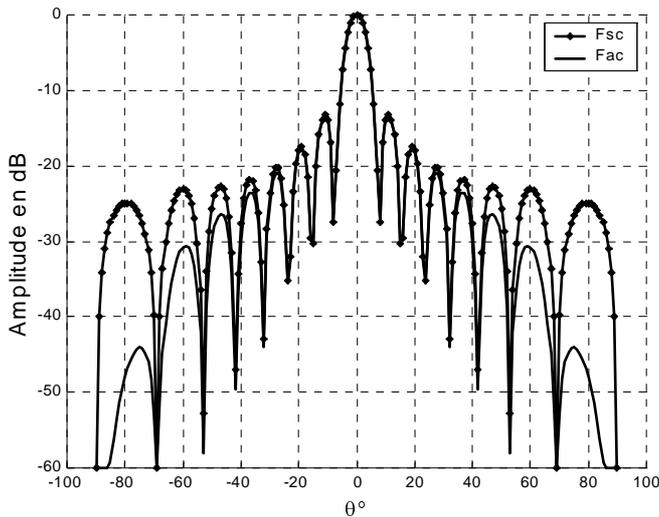


Fig. 2. Diagramme de rayonnement d'un réseau rectiligne à $N=10$ éléments

Fsc : Diagramme de rayonnement du réseau sans effet de couplage

Fac : Diagramme de rayonnement du réseau avec effet de couplage

Dans le cas d'un réseau plan, le champ total rayonné s'écrit sous la forme (7).

La figure 3 représente le diagramme de rayonnement du réseau plan périodique d'antennes alimentées par sonde coaxiale. Nous utilisons les mêmes caractéristiques du réseau précédent. Cette fois-ci le pas du réseau sera $a=15\text{mm}$ selon l'axe Ox et $b=15\text{mm}$ selon l'axe Oy .

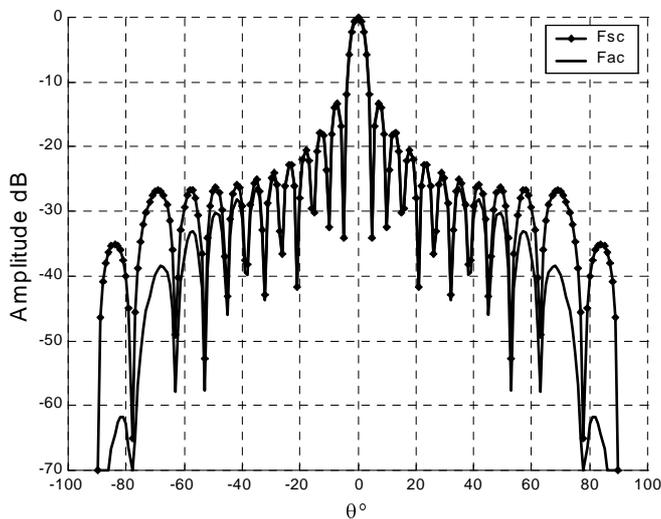


Fig. 3. Diagramme de rayonnement d'un réseau plan à $N \times M = 15 \times 10$ éléments

Fsc : Diagramme de rayonnement du réseau sans effet de couplage

Fac : Diagramme de rayonnement du réseau avec effet de couplage

Nous remarquons que le niveau des lobes secondaires est moins élevé dans le cas d'un diagramme de rayonnement avec effet de couplage que dans le cas d'un diagramme de rayonnement sans effet de couplage. L'ouverture du lobe principal d'un réseau à nombre d'éléments rayonnants petit est plus large que celle d'un réseau à nombre d'éléments élevé; aussi le nombre des lobes secondaires augmente en fonction du nombre d'éléments rayonnants dans le réseau.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons présenté une analyse de réseaux d'antennes imprimées avec modélisation du couplage. Nous avons utilisé la méthode dite élément par élément pour obtenir de façon théorique les courants créés sur chaque élément du réseau alimenté par sonde coaxiale, en tenant compte des interactions électromagnétiques qui peuvent exister entre les différents éléments rayonnants. Ainsi les courants de surface générés par cette méthode nous permettent d'obtenir d'une manière plus simple le champ total rayonné. De ce fait, nous avons pu analyser le comportement d'un réseau périodique monocouche (rectiligne et plan) en tenant compte de l'effet de couplage qui puisse exister dans le réseau. Les résultats obtenus ont été confrontés à ceux produits sans effet de couplage.

REFERENCES

- [1] A. C. Ludwig, *Mutual Coupling Between Microstrip Antennas*, Electronics letters, Vol. 18, n° 14, pp. 605-607, 1982.
- [2] R. Staraj, E. Cambiaggio, A. Papiernik, *Infinite Phased Arrays of Microstrip Antennas with Parasitic Elements. Application to Bandwidth Enhancement*, IEEE Trans. AP, vol. 42, n° 5, pp. 742-746, 1994.
- [3] R. Staraj, *Analyse de Réseaux d'Antennes Imprimées Monocouches ou Multicouches. Application aux Structures à Fort Couplage entre Eléments*, Thèse de Doctorat, Nice-Sophia Antipolis, 1992.
- [4] M. Monaco, *Effets des Interactions Electromagnétiques Entre Eléments Rayonnants dans les Réseaux Plans ou Cylindriques d'Antennes Imprimées*, Thèse de Doctorat, Nice-Sophia Antipolis, 1992.
- [5] A. Zitouni, F.T. Bendimerad, N. Boukli-Hacène, R. Staraj, E. Cambiaggio, *Synthèse de Réseaux Plans d'Antennes Imprimées avec Effet de Couplage Entre Eléments Rayonnants*, 3^{ème} Conférence Européenne sur les Méthodes Numériques en Electromagnétisme, NUMELEC'2000, Poitiers, France, Symposium Proceedings, mars 2000.