



**HAL**  
open science

## Vers la synthèse analytique d'un panneau réflecteur

A Grossetête, Erwan Fourn, Raphaël Gillard, Maria Garcia Vigueras

► **To cite this version:**

A Grossetête, Erwan Fourn, Raphaël Gillard, Maria Garcia Vigueras. Vers la synthèse analytique d'un panneau réflecteur. Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01724207

**HAL Id: hal-01724207**

**<https://hal.science/hal-01724207>**

Submitted on 6 Mar 2018

**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.

## Vers la synthèse analytique d'un panneau réflecteur

A. Grossetête<sup>1</sup>, Erwan Fourn<sup>1</sup>, Raphaël Gillard<sup>1</sup>, Maria Garcia Viguera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes  
Alexandre.Grossetete@insa-rennes.fr

**Résumé** — Ce papier présente une nouvelle méthodologie de synthèse purement analytique de panneau réflecteur. Elle est appliquée au cas simple d'un réflecteur à deux panneaux constitués de cellules de type ruban métallique. L'erreur maximale sur la loi de phase produite par le modèle analytique est de seulement 1,78°.

### 1. Introduction

La synthèse d'un réseau réflecteur passif consiste à dimensionner individuellement un ensemble de cellules unitaires afin de satisfaire une loi de phase en réflexion sur le réseau réflecteur [1].

Les méthodes de synthèse de réseaux réflecteurs sont majoritairement basées sur des logiciels commerciaux de simulation électromagnétique. Les paramètres électromagnétiques d'un grand nombre de configurations de la ou des cellule(s) unitaire(s) utilisée(s) sont ainsi simulés et répertoriés dans des bases de données. Elles sont ensuite exploitées afin de fournir les dimensions idéales de la cellule permettant de répondre à la loi de phase spécifiée. Cependant, en fonction de la précision de la base de données et de la complexité géométrique de la ou des cellule(s), cette méthode peut s'avérer très consommatrice en temps et en ressources de calcul. En outre, la modification de certaines caractéristiques du réseau (fréquence de fonctionnement par exemple) implique la constitution d'une nouvelle base de données.

Une méthode plus rapide pour synthétiser un réseau réflecteur consiste à dimensionner chaque cellule unitaire par son modèle circuit. Dans [2], des modèles circuits ont été proposés pour des cellules de réseaux réflecteurs composées de motifs de types patch et grille. Les éléments du modèle circuit y sont exprimés sous une forme purement analytique en fonction des paramètres géométriques de la cellule unitaire. Le dimensionnement de chaque cellule consiste alors à synthétiser les valeurs des éléments du circuit (capacité, inductance) à partir de la loi de phase spécifiée et d'en déduire analytiquement les valeurs des paramètres géométriques. Ce modèle a été utilisé au départ pour synthétiser des surfaces sélectives en fréquence [3] et plus récemment pour des réseaux réflecteurs [4][5].

Néanmoins, ce modèle circuit présente des limites de fonctionnement pour certaines configurations de la cellule unitaire. Récemment, des modèles circuits analytiques plus robustes et plus précis ont été développés pour des structures périodiques composées de motifs à 1D (ruban

et fente) [6], à 2D (patch et grille) [7] et pour des motifs à géométries arbitraires [8].

Dans ce papier, nous proposons une méthodologie de synthèse purement analytique (cf. Figure 1) en se basant sur le modèle circuit proposé dans [6]. Notre méthodologie est appliquée à un premier cas simple d'un réflecteur à deux panneaux composés de rubans métalliques.

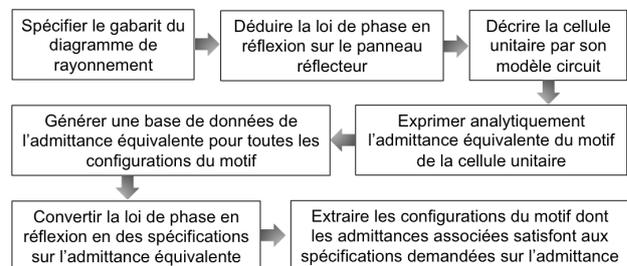


Figure 1. Procédure générale pour la synthèse d'un réflecteur.

### 2. Circuit équivalent de la cellule unitaire

Cette section a comme objectif d'indiquer les conditions d'utilisation du modèle circuit proposé dans [6].

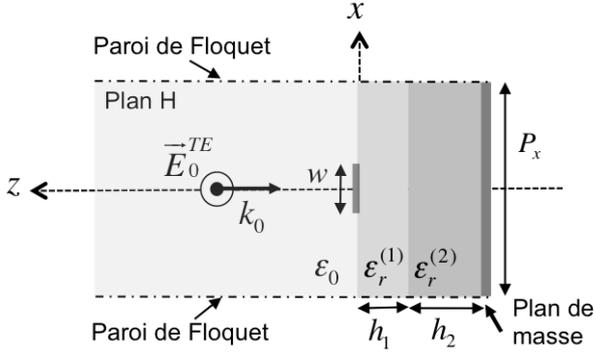
#### 2.a. Structure de la cellule unitaire

La Figure 2 présente la structure de la cellule unitaire. Elle est composée d'un agencement périodique, de période  $P_x$ , de rubans métalliques de largeurs  $w$ . La structure se compose d'une superposition de deux couches de substrats de permittivités relatives  $\epsilon_r^{(i)}$  et d'épaisseurs  $h_i$ ; où  $i = 1, 2$  correspond à la  $i^{\text{ème}}$  couche de substrat. La seconde couche de substrat est fermée par un plan de masse métallique. Une onde plane polarisée TE illumine normalement la structure dans le plan  $x0z$ . Le champ électrique est donc orienté parallèlement au ruban métallique. Les parois de la cellule unitaire sont associées à des conditions périodiques aux limites suivant l'axe  $x$ .

#### 2.b. Circuit équivalent de la cellule unitaire

La Figure 3a illustre le modèle circuit de la cellule unitaire. Le ruban métallique est modélisé par une inductance  $L_1$ . Les couches de substrats sont modélisées par deux lignes de transmissions de longueurs respectives  $h_1, h_2$  d'admittances caractéristiques  $Y_0^{(1)}, Y_0^{(2)}$  et de constante de propagation purement imaginaire  $\gamma_0^{(1)}, \gamma_0^{(2)}$ .

Comme expliqué dans [6], l'équation (1) exprime l'admittance de l'inductance  $L_1^{\text{Modèle}}$  en fonction de la lar-



**Figure 2. Structure de la cellule unitaire du panneau réflecteur.**

geur du ruban métallique  $w$  à la fréquence de travail  $f_0$  et d'une contribution infinie d'admittances. Les termes  $Y_{n,qs}^{(G),TE}$  et  $Y_{n,qs}^{(D),TE}$  représentent les admittances ramenées par chaque harmonique à gauche et à droite du motif (cf. Figure 3b).

En effet, du fait de la périodicité de la structure, une infinité d'harmoniques  $TE_n$  est excitée lorsque l'onde incidente atteint la structure en  $z = 0$ . Dans le cadre de notre application, nous considérons le modèle circuit dans son régime quasi-statique (qs). Ce qui signifie que tous les harmoniques sont considérés évanescents. Pour que ceci soit vérifié, la fréquence de travail  $f_0$  doit être très inférieure à la fréquence de coupure du premier harmonique  $f_{c,n=1} = \pi c_0 / P_x$  (où  $c_0$  est la célérité de l'onde dans le vide). Le comportement de ces harmoniques dans les couches de substrats est modélisé par une ligne de transmission d'admittance caractéristique purement inductive  $Y_{n,qs}^{(i),TE}$  et d'une constante de propagation purement réelle  $\gamma_{n,qs}^{(i)}$ .

Enfin, le terme  $A_{n,qs}(w)$  représente la quantité d'énergie associée à chaque harmonique couplé sur la structure. Ce coefficient d'excitation dépend de la géométrie du motif.

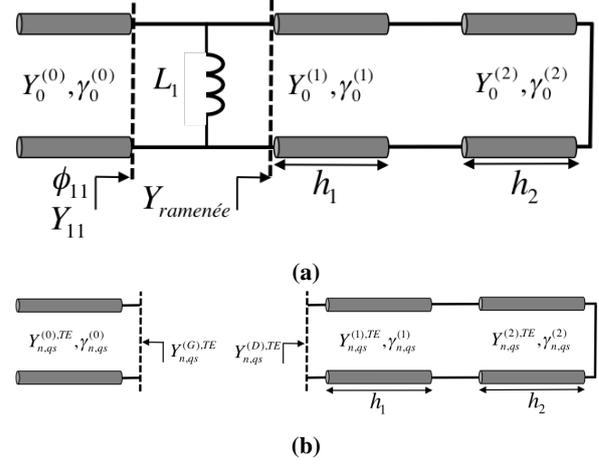
$$Y_{L1}^{Modèle}(f_0, w) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Y_{n,qs}^{(G),TE}(f_0) + Y_{n,qs}^{(D),TE}(f_0)}{A_{n,qs}(w)} \quad (1)$$

### 3. Synthèse d'un réflecteur à deux panneaux

#### 3.a. Structure du réflecteur

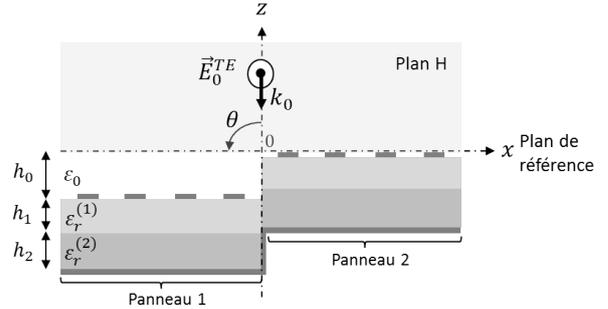
Pour des raisons de simplicité, la structure est illuminée par une onde plane en incidence normale. La structure est ainsi considérée comme un réflecteur et non un réseau réflecteur. Les rubans métalliques sont continus suivant l'axe  $y$ . Le réflecteur dépointe alors dans le plan  $xOz$  à la fréquence de travail  $f_0 = 12,5 GHz$ .

La Figure 4 présente la structure du réflecteur à synthétiser. Cet exemple canonique a comme intérêt de valider les principes de la méthodologie. La structure est composée de deux panneaux de largeur identique  $\lambda_0/2$



**Figure 3. (a) Circuit équivalent de la cellule unitaire. (b) Admittances vues à gauche et à droite par chaque harmonique  $n$ .**

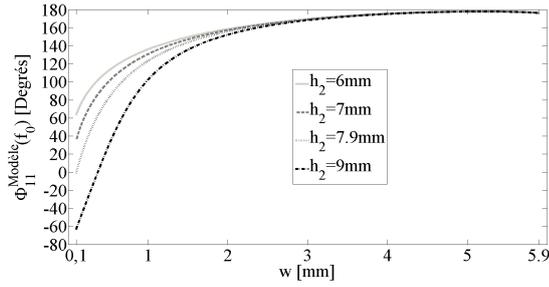
(selon l'axe  $oy$ ). Chaque panneau est constitué d'un assemblage de cellules unitaires dont la période a été fixée à  $P_x = \lambda_0/4$  afin de garantir la condition du régime quasi-statique. Le ruban métallique repose sur une première couche de substrat d'épaisseur  $h_1 = 508 \mu m$  et de permittivité relative  $\epsilon_r^{(1)} = 3,55$  (substrat Rogers RO4003C). La seconde couche est de l'air. Une étude paramétrique sur son épaisseur  $h_2$  a été effectuée (cf. Figure 5) afin de garantir qu'une gamme de phase de  $180^\circ$  soit réalisable. Cette gamme de phase est atteinte pour  $h_2 = 7,9 mm$ . Enfin, afin de garantir une gamme de phase complète de  $360^\circ$  au plan de référence du réflecteur ( $z = 0$ ), une solution consiste à ajouter un second panneau séparé d'une couche d'air d'épaisseur  $h_0 = \lambda_0/4$ .



**Figure 4. Structure du réflecteur à deux panneaux.**

#### 3.b. Synthèse du réflecteur

Les spécifications sur le diagramme de rayonnement sont les suivantes. Le lobe principal doit présenter un maximum de directivité dans la direction  $\theta = -10^\circ$  ainsi qu'une ouverture à  $-3dB$  de  $10^\circ$ . Pour y répondre, un pas de phase linéaire de  $15,62^\circ$  doit être appliqué sur les 20 cellules que compte le réflecteur ; soit 10 cellules par panneau. Chaque panneau fait ainsi  $2,5 \lambda_0$  de longueur. La gamme de phase à couvrir est de  $-156,27^\circ$  à  $-15,62^\circ$  pour le premier et de  $0^\circ$  à  $140,65^\circ$  pour le second.



**Figure 5. Gamme de phase obtenue par le modèle analytique pour différentes épaisseurs  $h_2$  à  $f_0 = 12,5GHz$**

Les spécifications sur la phase réfléchie  $\Phi_{11}^{Spéc}$  sont converties en des spécifications sur l'admittance  $Y_{11}^{Spéc}$  (2) en entrée du modèle circuit de la Figure 3a.

$$Y_{11}^{Spéc} = -jY_0^{(1)} \tan\left(\frac{\Phi_{11}^{Spéc}}{2}\right) \quad (2)$$

Les spécifications sur l'admittance  $Y_{L_1}^{Spéc}$  de l'inductance  $L_1^{Spéc}$  sont déduites (3) en retranchant l'admittance ramenée par les lignes de transmissions  $Y_{ramenée}$ .

$$Y_{L_1}^{Spéc} = Y_{11}^{Spéc} - Y_{ramenée} \quad (3)$$

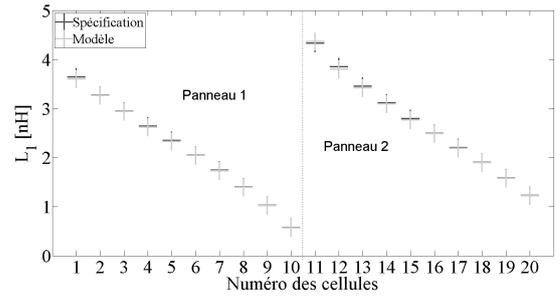
La Figure 6a présente les spécifications sur l'inductance  $L_1^{Spéc}$  pour les modèles circuits associés aux 20 cellules unitaires. La largeur de chaque ruban métallique est ensuite déduite en égalisant l'admittance  $Y_{L_1}^{Modèle}$  (1) avec la spécification sur l'admittance  $Y_{L_1}^{Spéc}$  (3). La Figure 6b fournit les largeurs résultantes associées à chaque cellule du réflecteur.

#### 4. Résultats

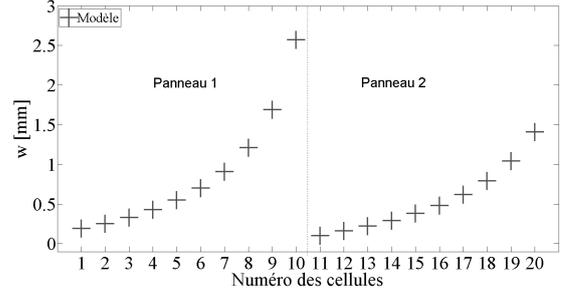
La Figure 7 compare la loi de phase réalisée en sortie de la synthèse avec la loi de phase simulée sous HFSS. La loi de phase réalisée présente une erreur maximale de  $1,78^\circ$ . La Figure 8 présente le diagramme de directivité normalisée du réflecteur à 2 panneaux dans le plan  $xOz$  simulé sous HFSS. Il répond de façon très satisfaisante aux spécifications de rayonnement. En effet, le diagramme de rayonnement présente une directivité maximale pour  $\theta = -10^\circ$  et une ouverture du lobe principal à -3dB de  $10^\circ$ .

#### 5. Conclusion

Ce papier propose une méthodologie de synthèse purement analytique d'un réflecteur. Notre méthodologie a été appliquée à un cas canonique de réflecteur à deux panneaux en utilisant un modèle circuit plus robuste et précis [6]. Les résultats obtenus sur la loi de phase réalisée et sur le diagramme de rayonnement sont très satisfaisants et démontrent l'efficacité de la synthèse analytique en rapidité (pour la génération de la base de données) mais aussi en précision (résultats de la synthèse). Cette étude préliminaire est prometteuse pour envisager une synthèse de cel-

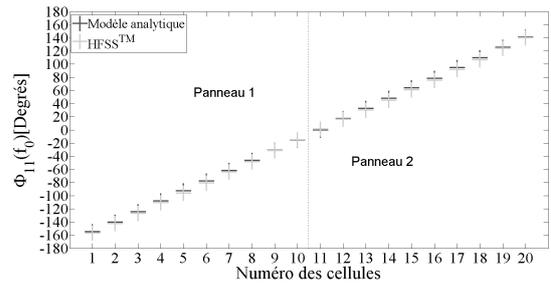


**(a) Spécifications sur l'inductance équivalente.**



**(b) Déduction des largeurs des rubans métalliques.**

**Figure 6. Synthèse du réflecteur à 2 panneaux.**

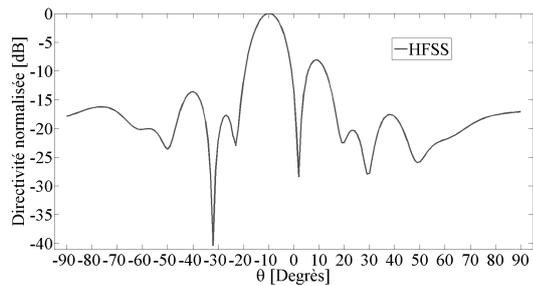


**Figure 7. Comparaison entre la loi de phase réalisée par la synthèse et la loi de phase simulée sous HFSS.**

lule plus complexe de type Phoenix [9] en s'appuyant sur des modèles circuits analytiques plus complexes [7][8].

#### Références

- [1] J. Huang and J. A. Encinar, *Reflectarray Antennas*, I. Press, Ed. John Wiley and Sons, 2008.
- [2] O. Luukkonen, C. Simovski, G. Granet, G. Goussetis, D. Lioubtchenko, A. V. Räisänen, and S. A. Tretyakov, "Simple and accurate analytical model of planar grids and high-impedance surfaces comprising metal strips or patches," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 6, 2008.
- [3] M. A. Al-Joumayly and N. Behdad, "A generalized method for synthesizing low-profile, band-pass frequency selective surfaces with non-resonant constituting elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 12, December 2010.
- [4] S. M. A. M. H. Abadi, K. Ghaemi, and N. Behdad, "Ultra-wideband, true-time-delay reflectarray antennas using ground-plane-backed, miniaturized-element



**Figure 8. Diagramme de rayonnement simulé du réflecteur à deux panneaux.**

frequency selective surfaces,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 2, February 2015.

- [5] L. Liang and S. V. Hum, “Design of a uwb reflectarray as an impedance surface using bessel filters,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 10, October 2016.

- [6] R. Rodriguez-Berral, C. Molero, F. Medina, and F. Mesa, “Analytical wideband model for strip/slit gratings loaded with dielectric slabs,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 16, December 2012.

- [7] R. Rodriguez-Berral, F. Mesa, and F. Mesa, “Analytical multimodal network approach for 2-d arrays of planar patches/apertures embedded in a layered medium,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 5, May 2015.

- [8] F. Mesa, M. Garcia-Vigueras, F. Medina, and R. Rodriguez-Berral, “Circuit-model analysis of frequency selective surfaces with scatterers of arbitrary geometry.”

- [9] L. Moustafa, R. Gillard, F. Peris, R. Loison, H. Legay, and E. Girard, “The phoenix cell : a new reflectarray cell with large bandwidth and rebirth capabilities,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 10, 2011.