

UTILISATION DES CONDITIONS DE FLOQUET DANS LA FDTD POUR L'ÉTUDE DE RÉSEAUX INFINIS D'ANTENNES

E. GIRARD, R. GILLARD

LCST/URER

INSA Rennes - 20 avenue des Buttes de Coësmes 35043 Rennes Cédex – France

I. Introduction

La simulation électromagnétique de réseaux d'antennes comportant un grand nombre d'éléments peut rapidement être limitée par le temps de calcul nécessaire et les ressources informatiques à mettre en œuvre. L'analyse globale est néanmoins nécessaire pour prendre en compte les couplages qui s'établissent entre les antennes. Pour simuler des réseaux de grande taille, une solution réside dans l'implantation de conditions de Floquet dans un code de calcul de type Différences Finies dans le Domaine Temporel (FDTD). Cela permet de simuler un réseau infini et périodique tout en se limitant au calcul effectif du champ sur une seule période du réseau par l'introduction de conditions aux limites particulières. Cet article compare les résultats obtenus avec des simulations de réseaux finis de différentes tailles et de réseaux infinis pour des antennes imprimées.

II. Méthode de calcul : FDTD

La FDTD est une méthode numérique temporelle itérative qui permet de résoudre les équations de Maxwell discrétisées. Elle présente l'avantage de permettre une simulation large bande et de s'adapter facilement à la description de structures 3D complexes [1].

Lors d'un calcul FDTD, le volume de calcul est généralement borné par des parois absorbantes pour simuler l'espace infini. En implantant des conditions aux limites de Floquet, il est possible de simuler le fonctionnement d'un réseau infini.

III. Simulation de réseaux infinis

Des conditions de Floquet pour la FDTD ont déjà été implantées [3], [4] dans des structures différentes du cas traité dans cet article. Les conditions de Floquet utilisées permettent d'étudier des réseaux infinis et périodiques d'éléments tous identiques.

a) Théorème de Floquet

Dans le domaine fréquentiel, le théorème de Floquet [2] permet de calculer les champs dans une période du réseau à partir des champs existant une période spatiale plus loin à un déphasage près. Dans le domaine temporel, un tel déphasage doit être converti en un décalage dans le temps. Ce décalage ne pose pas problème lorsqu'il s'agit d'un retard : numériquement on peut le prendre en compte en stockant les champs calculés à un instant donné pour ensuite les utiliser à un instant postérieur. Il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit d'une avance, car on devrait alors connaître à un instant donné les champs qui seront calculés à un instant postérieur. Dans le cas présent on se limite à une configuration où tous les éléments sont excités en phase, ce qui permet d'éviter cette contrainte.

b) Mise en œuvre

L'implantation des conditions de Floquet dans un code de calcul FDTD permet de calculer les champs E et H sur les parois du volume sans avoir à faire référence directement à des champs à l'extérieur de celui-ci [3]. Habituellement, le champ électrique sur le bord du volume de calcul est calculé au moyen de conditions aux limites telles que des conditions absorbantes ou des murs électriques. Ces conditions aux limites évitent dans le cas du calcul des champs sur les bords d'avoir à utiliser les champs voisins qui se trouveraient à l'extérieur du volume de calcul.

Dans le cas présent, on utilise la propriété de périodicité qui découle de l'utilisation du théorème de Floquet. Les champs calculés pour une période spatiale vont se reproduire à l'identique une période spatiale en avant ou en arrière. Ainsi, lorsque l'on veut, *figure 1*, calculer les champs situés sur le bord B du volume de calcul, On évite de faire intervenir les champs situés à l'extérieur du volume de calcul. Ces champs, a priori inconnus, peuvent être atteints en les identifiant aux champs, connus, situés une période spatiale avant, sur le bord A.



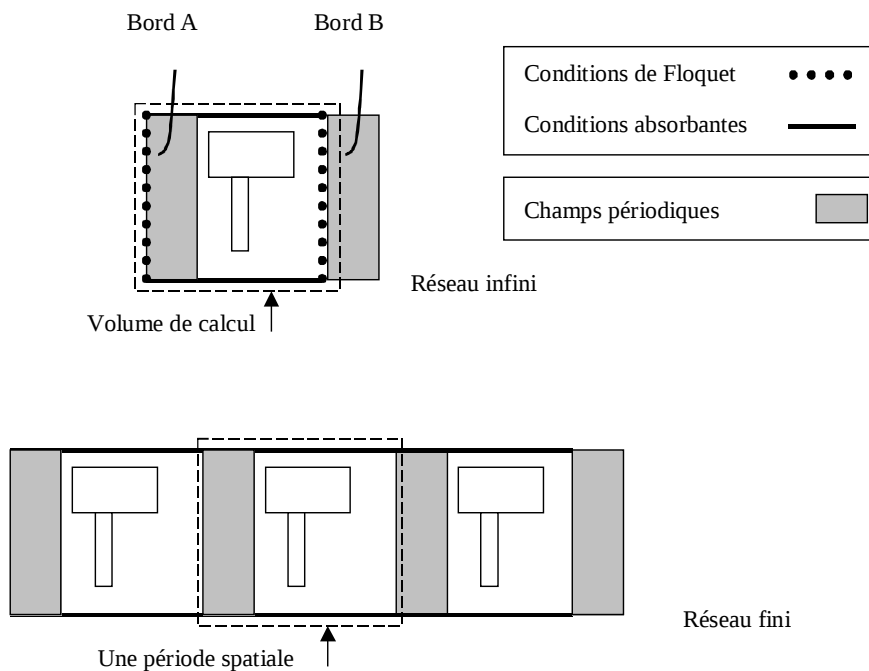


Figure 1: Simulation de réseaux périodiques

IV. Comparaison des simulations de réseaux réels et infinis

Des comparaisons entre une simulation de réseau fini simulé par l'intermédiaire d'une FDTD classique et une simulation en utilisant des conditions de Floquet ont été menées.

a) Réseaux infinis linéaires

La première configuration étudiée est un réseau linéaire d'antennes patch alimentées par ligne microruban. Les dimensions en mm de l'antenne sont représentées *figure 2*. L'antenne est imprimée sur un substrat de permittivité 2.2 et d'épaisseur 0.795 mm. Le pas du réseau linéaire selon x est de 14.782 mm. La *figure 3* donne le coefficient de réflexion mesuré sur la ligne de l'antenne centrale pour différentes configurations : 1 antenne seule, 3, 5 et 7 antennes ou pour un réseau infini.

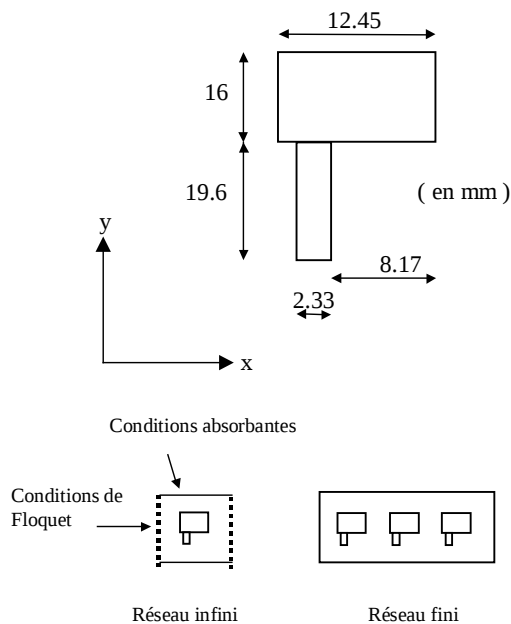


Figure 2 : Schéma de l'antenne utilisée et réseau fini/infini

Les simulations permettent de fixer à 7 le nombre d'antennes à simuler pour retrouver un comportement très similaire à celui d'un réseau infini et bien différent du fonctionnement de l'antenne seule (voir la figure 3) .

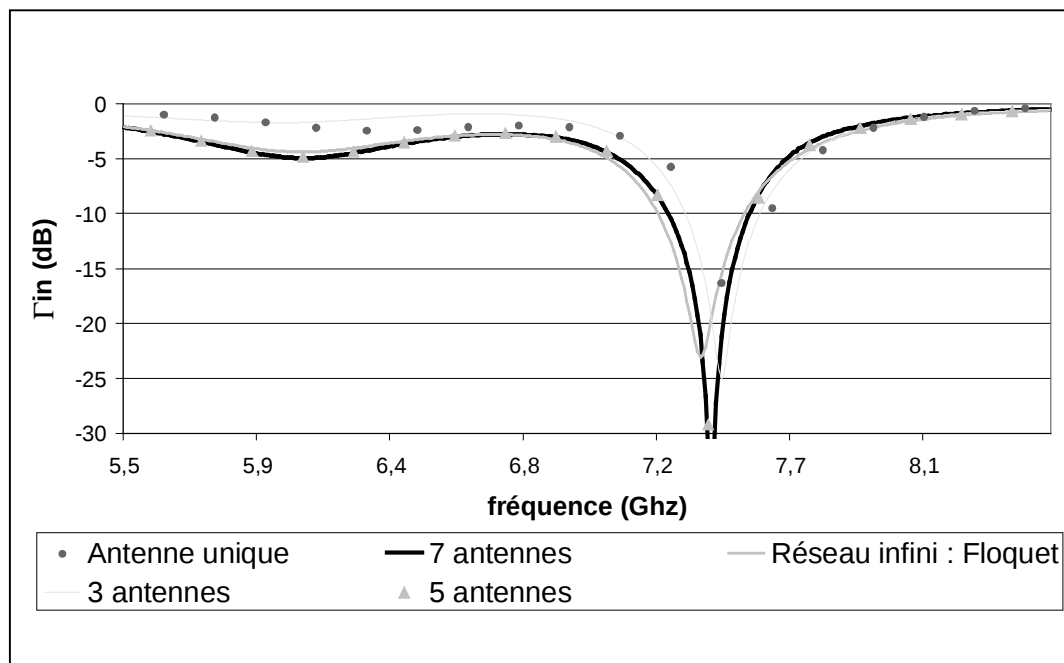


Figure 3 : Comparaison de réseaux finis et infini.

Dans le cas du réseau infini, le temps de calcul est 7 à 8 fois inférieur au temps de simulation du réseau fini de 7 antennes.

L'étape suivante consiste à passer d'un réseau linéaire à un réseau plan. Dans le cas d'un réseau plan, le nombre de voisins de l'antenne étudiée devient rapidement très grand. Les simulations en sont d'autant rallongées.

b) Réseaux infinis plans



5D-9

La configuration étudiée est un réseau plan d'antennes patch alimentées par ligne microruban. Les dimensions en mm de l'antenne sont représentées *figure 4*. L'antenne est imprimée sur un substrat de permittivité 2.2 et d'épaisseur 0.795 mm. Le pas du réseau selon x est de 14.782 mm, le pas selon y est de 20 mm. La *figure 5* présente le diagramme de rayonnement obtenu, à une fréquence de 7.4 GHz, en utilisant une surface de Huygens identique dans les deux cas. Pour le cas du réseau fini on se place au-dessus de l'antenne située au milieu du réseau.

Les résultats obtenus avec une simulation FDTD complète pour 9 sources élémentaires sont comparés avec ceux calculés à l'aide des conditions de Floquet (1 seule source simulée). A titre d'indication, les diagrammes de l'antenne isolée sont eux aussi donnés.

L'accord entre réseau infini et sous-réseau de 9 éléments est très bon bien que l'environnement de la source élémentaire étudiée soit limité à ses voisins immédiats. Le temps de calcul est divisé approximativement par 9 et redevient comparable à celui de la source isolée.

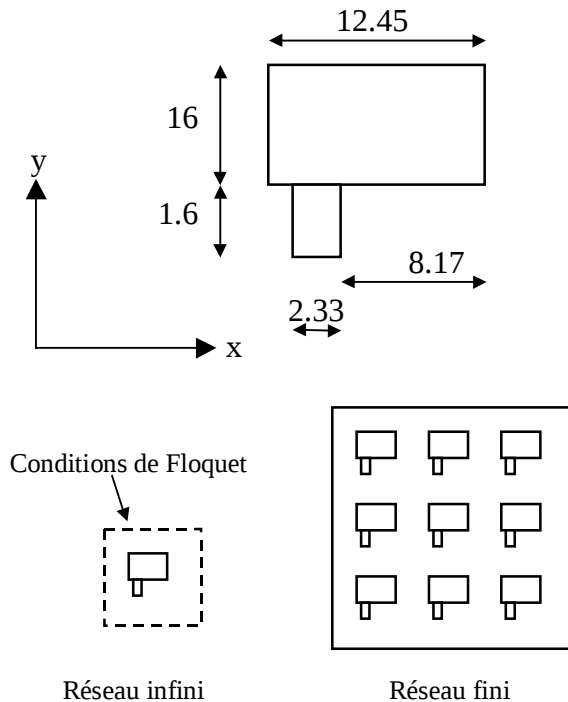


Figure 4: Antenne utilisée et configuration de simulation

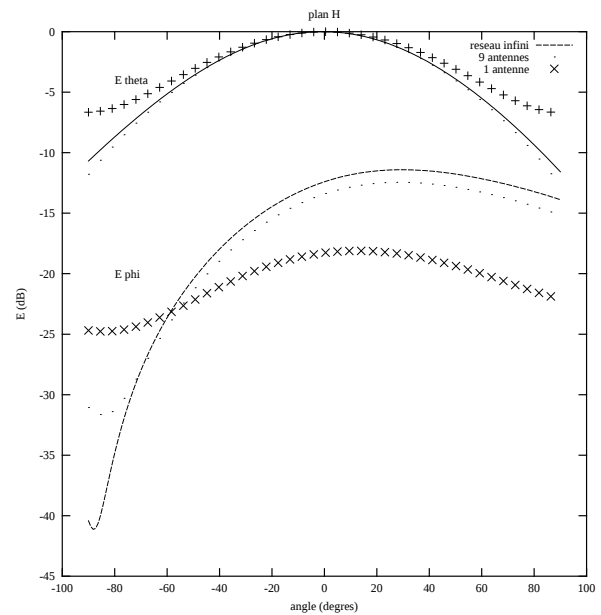


Figure 5: Résultats de simulation

V. Conclusion et perspectives

L'application des conditions de Floquet dans un code FDTD a été évaluée sur différentes configurations de réseaux d'antennes. Les résultats sont en bon accord avec les simulations de réseaux réels de grande taille. Le traitement doit être généralisé pour permettre la prise en compte de retards et d'avances temporels sur les parois du volume de calcul pour gérer les cas de réseaux alimentés avec une certaine loi de phase

Références

- [1] A.TAFLOVE, « The FDTD Method. », Artech House, 1995.
- [2] R. MITRA AND C. H. CHAN, "Techniques for analyzing frequency selective surfaces – A review", *proc of the IEEE*, vol 76, n°12, December 1988.
- [3] P.HARMS, R. MITRA AND W. KO, "Implementation of the periodic boundary condition in the FDTD algorithm for FSS structure", *IEEE Trans. AP*, vol. 42, n°9, pp. 1317-1324, September 1994.
- [4] W. YU, S. DEY AND R. MITRA, "On the modelling of periodic structures using the FDTD algorithm", *IEEE Microwaved and guided wave letters*, vol 6, n°3, pp. 151-155, March 1996.

