Caractérisation de la diffusion bistatique du champ électromagnétique par un environnement urbain dans la bande X

Characterization of the bistatic diffusion of the electromagnetic field by an urban environment in X-band

Minh Nguyen*, David Lautru**, Hélène Roussel*

** Département de Recherche en Électromagnétisme (DRÉ/L2S)*
Supélec, 3 rue Joliot Curie, Plateau de Moulon, 91192 Gif-sur-Yvette
nnguyen@lss.supelec.fr, helene.roussel@lss.supelec.fr
*** Laboratoire d'Électronique et Électromagnétisme (L2E)*
UPMC Univ Paris 06, EA 2385, L2E, F-75005, Paris, France
david.lautru@upmc.fr

Résumé

Dans cet article, nous proposons un modèle de diffusion en mode bistatique (l'émetteur et le récepteur sont délocalisés) permettant de caractériser le champ diffracté par une zone urbaine éclairée par une onde plane. Ce modèle est validé dans la bande de fréquence 8-12 GHz (bande X). Le calcul du champ diffusé par une parcelle de zone urbaine comprenant un ensemble de bâtiments répartis aléatoirement est basé sur le lancer de rayon et la Théorie Uniforme de la Diffraction (TUD). Il nous permet de connaître en un point quelconque le champ diffusé en amplitude et phase. Les applications de cette méthode sont d'une part la détection de cibles se déplaçant en zone urbaine et d'autre part, l'étude de la propagation tridimensionnelle du champ électromagnétique dans ce milieu.

Abstract

In this article, we propose a bistatic diffusion model (transmitter and receiver are different) to characterize the diffracted field by an urban area illuminated by a plane wave. This model is developed in the frequency band from 8 to 12 GHz (X-band). The urban area is represented by a group of randomly distributed buildings. The calculation of the diffracted field is based on the ray-tracing and the Uniform Theory of Diffraction (UTD). It allows us to know at any point the amplitude and phase of the transmitted field. The applications of this method are the detection of displaced targets in urban areas and the analysis of the propagation of an electromagnetic field in these environments.

Mots clés: milieu urbain, lancer de rayon, théorie uniforme de la diffraction, bande X, propagation
Index words: urban, ray-tracing, uniform theory of diffraction, X-band, propagation

Introduction

L'imagerie SAR (Synthetic Aperture Radar) de zones urbaines est un sujet d'intérêt constant comme le montre les références [1-2]. Afin de mieux interpréter les informations recueillies par une plate-forme aérienne ou spatiale, il est nécessaire de développer des modèles permettant de "prédire" le champ diffusé par une zone urbaine. Dans certaines applications de communication et localisation en milieu urbain, il est intéressant de considérer la propagation dans des bandes de fréquences hautes (bande X). L'objectif n'est plus de prédire une couverture (il n'y a pas de stations de base), mais d'évaluer la qualité d'une liaison (par exemple entre un émetteur et un récepteur radar) en fonction des paramètres de l'environnement urbain (densité des bâtiments, hauteur des bâtiments…). Pour développer un modèle réaliste, il faut d'une part définir une représentation de la parcelle observée la plus proche possible de la réalité et d'autre part un modèle électromagnétique assez précis permettant d'intégrer le mieux possibles toutes les interactions. Nous proposons dans cet article un modèle basé sur le lancer de rayon et la Théorie Uniforme de la Diffraction (TUD) du champ électrique afin de définir en tout point le champ diffracté par une zone urbaine éclairée par un front d'onde plane dans la bande de fréquence (8-12 GHz).

1. Modèle

1.1 La représentation de la zone urbaine

Afin de pouvoir appliquer un modèle électromagnétique permettant d'intégrer toutes les interactions possibles entre les éléments de la parcelle observée, nous avons choisi une représentation de la zone urbaine relativement simple. Cette représentation est toutefois justifiée car les "objets" urbains (immeubles, voitures…) sont toujours beaucoup plus grands que la longueur d'ondes considérées. De plus la rugosité du sol n'est pas prise en compte car elle est de faible amplitude relative. Les bâtiments et les rues sont représentés par des parallélépipèdes de permittivité égale à celle du béton et du sol. Le sol est présenté par

une interface plane air/sol placé à la base des bâtiments (voir figure 1). Les constantes diélectriques des bâtiments et du sol dépendent de l'humidité et sont définies par la partie réelle et imaginaire des permittivités relatives complexes ε_b ou ε_r. Les bâtiments sont placés de façon déterministe sur une parcelle de côtés Lx, Ly.

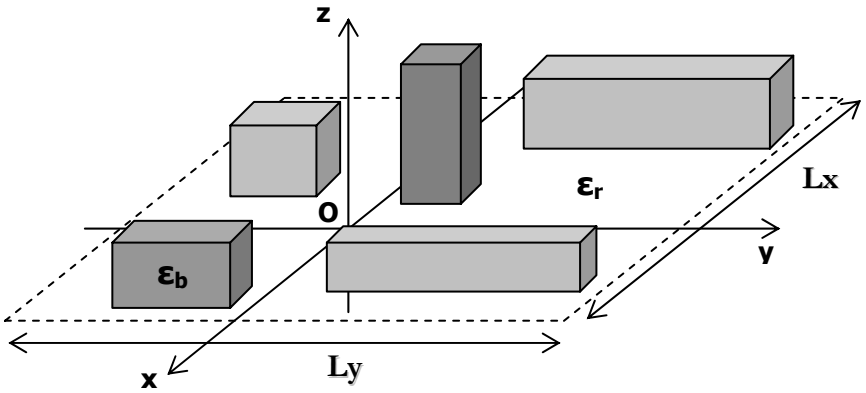


Figure 1: Représentation d'un milieu urbain pour le calcul de l'interaction avec un champ électromagnétique

1.2 Le calcul du champ diffusé

Pour le calcul du champ diffusé, nous utilisons le lancer de rayon couplé à l'optique géométrique et la théorie uniforme de la diffraction [3-4].

Si l'on considère une réflexion, nous déterminons le champ réfléchi à l'aide de la relation:

$$\vec{E}^r(M)=\vec{E}^r(O).e^{-j\vec{k}_r\,\vec{OM}}=\left\{E_v^r(O)\,\hat{v}_r+E_h^r(O)\,\hat{h}_r\right\}.e^{-j\vec{k}_r\,\vec{OM}}=\left\{\mathrm{R_v}\;E_v^i(O)\hat{v}_r+\mathrm{R_h}\;E_h^i(O)\hat{h}_r\right\}.e^{-j\vec{k}_r\,\vec{OM}}$$

où R_v, R_h sont les coefficients de réflexion de Fresnel en polarisation verticale et horizontale.

Pour les cas de diffraction (interception d'un rayon par une arrête d'un bâtiment), le champ diffracté est évalué en utilisant la théorie uniforme de la diffraction TUD:

$$\vec{E}^d(M)=E_v^d(M)\,\hat{v}_d+E_h^d(M)\,\hat{h}_d=\mathrm{A}\left\{\;\mathrm{D_v}\;E_v^i(O)\hat{v}_d\;+\mathrm{D_h}\;E_h^i(O)\hat{h}_d\;\right\}.e^{-j\vec{k}_d\,\vec{OM}}$$

où D_v, D_h sont les coefficients de diffraction en polarisation verticale et horizontale et A est le facteur de divergence géométrique.

Finalement, le champ résultant de la propagation d'un rayon sera obtenu après des réflexions multiples et au plus une diffraction (pour les ordres supérieurs nous considérons que le signal est trop faible).

1.3 Résultats

Nous allons maintenant étudier un cas plus proche de la réalité composé d'un ensemble de quatre bâtiments de hauteurs H = [8 14 10 12] m, de longueurs L = [5 6 5 6] m et de largeurs W = [4 5 7 8] m (voir figure 2). Les rayons réfléchis et diffractés sont tracés respectivement en rouge et bleu (voir figure 3).

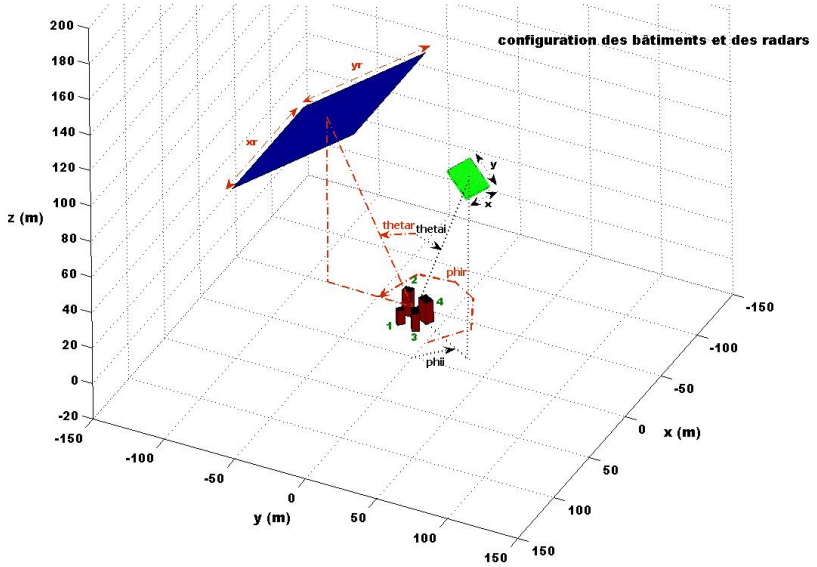


Figure 2: Configuration étudiée
Plan d'onde plane incidente: θi = 28°, φi = 70°, dimensions x = 20m, y = 20m
Plan d'observation: θr = 30°, φr = 270°, dimensions xr = 100m, yr = 100m

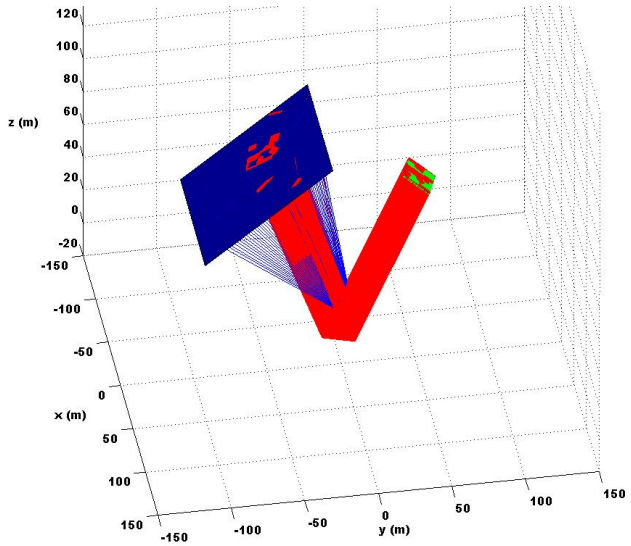
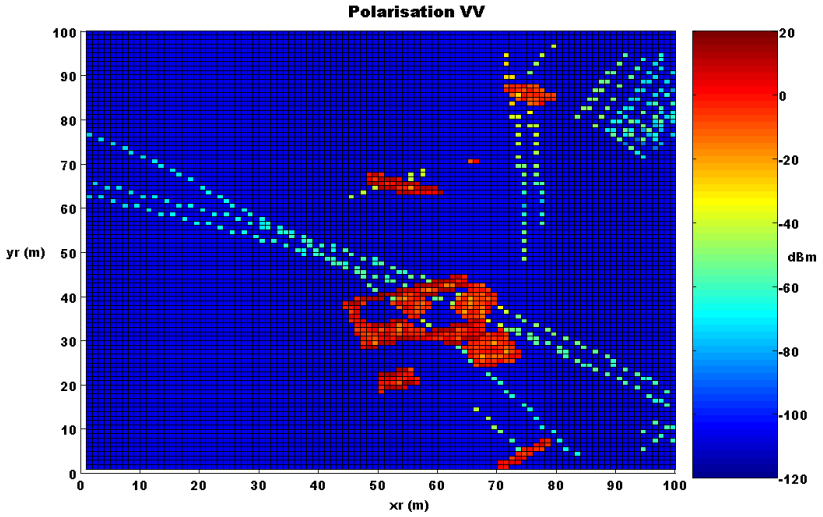
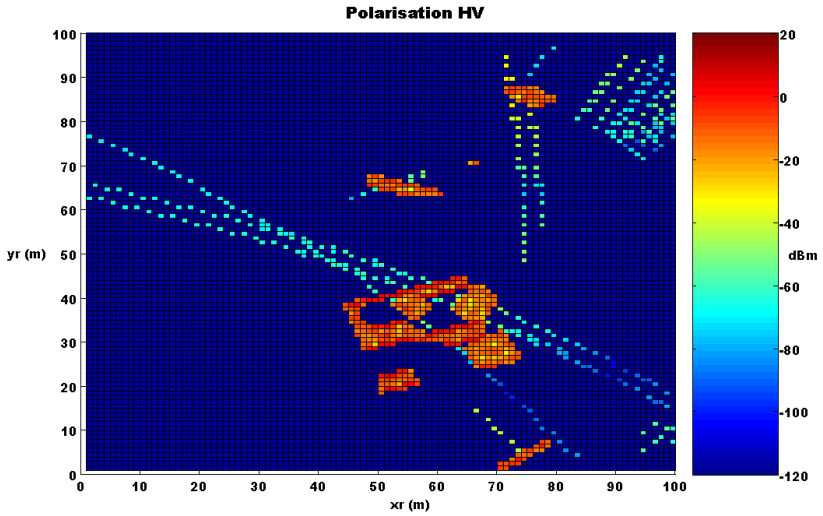


Figure 3: Visualisation des rayons réfléchis (en rouge) et diffractés (en bleue)

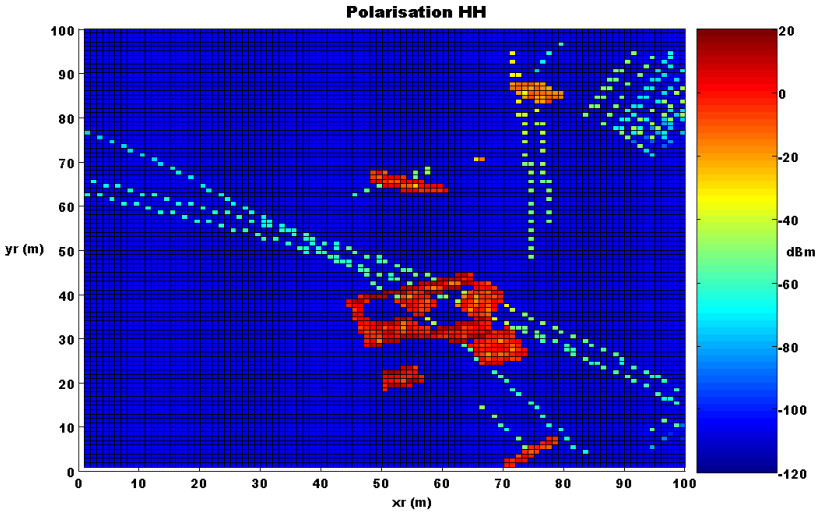
Pour cette configuration, nous évaluons sur un plan placé à la même hauteur que la source (100m) l'amplitude du champ diffusé (dû à des réflexions multiples et/ou une diffraction). Sur la figure 4, nous avons représenté le module du champ diffusé par cette zone pour les deux polarisations (VV, HV) et (HH, VH). Nous constatons que la contribution vient principalement du champ dû aux réflexions multiples, la contribution des rayons diffractés est plus faible.



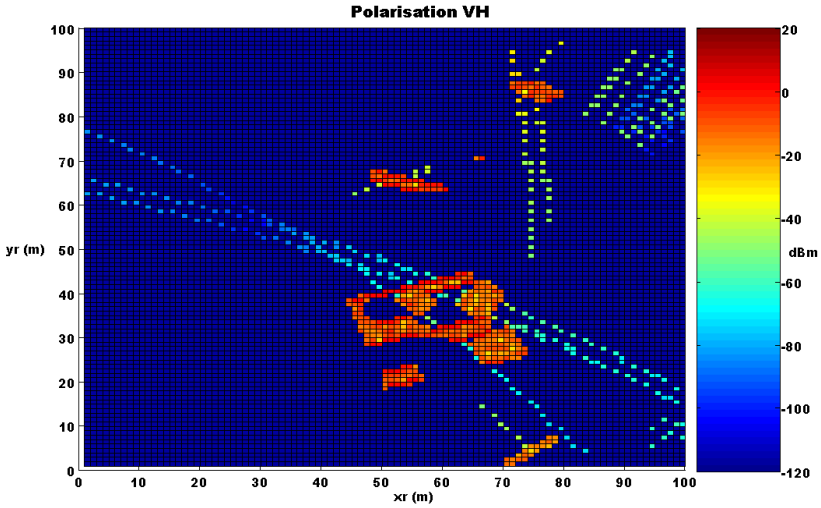
(a) Polarisation VV



(b) Polarisation HV



(c) Polarisation HH



(d) Polarisation VH

Figure 4: L'amplitude du champ diffusé par la zone urbaine éclairée par un front d'onde plane sur la surface de réception

2. Application à l'étude de la propagation en milieu urbain

Nous venons de définir un moyen d'évaluer le champ diffusé par une zone urbaine. Ce champ dépend de la polarisation de l'onde incidente, de la géométrie et de la nature des matériaux définissant les bâtiments et du sol urbain. Pour notre modèle, le champ diffusé, par une zone urbaine, est obtenu pour une répartition déterministe de bâtiments. Pour obtenir une valeur moyenne du champ diffusé dans une direction donnée, il faudra calculer pour plusieurs configurations possibles le champ diffusé et le moyenner.

3. Conclusion

Le modèle proposé permet de caractériser d'une part le champ diffracté et d'autre part la propagation d'un champ dans une zone urbaine dans la bande X. Les applications sont la qualité du champ diffracté en fonction des paramètres de l'environnement urbain et l'étude de l'affaiblissement d'une onde se propageant dans ce milieu.

Références bibliographiques

1- S. Meric, G. Chassay, O. Bechu and T. Tenoux, "*Propagation prediction calculation used for SAR imaging Urban area*", Electronics Letters, 34(11): 1147-1149, mai 1998

2- J.M. Berenyi Tajbakhsh, M.J. Kim and R.E. Burge, "*Images of urban areas by a synthetic aperture radar simulator*", Conf. on SAR data processing for remote sensing, Rome, Italy, p.290-300, septembre 1974

3- R .J. Luebbers, "*Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss*", Antennas and Propagation, IEEE Transactions on [legacy, pre - 1988], p.70-76, janvier 1984

4- R.G. Kouyoumjian, "*A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface*", Proc. IEEE 62, p.1448-1461, novembre 1974