



HAL
open science

RF propagation -Environmental characterization PSOL project Long-distance propagation of surface waves on non-smooth ground

N Bui, Christophe Guiffaut, Alain Reineix, N Muot, S Leman

► To cite this version:

N Bui, Christophe Guiffaut, Alain Reineix, N Muot, S Leman. RF propagation -Environmental characterization PSOL project Long-distance propagation of surface waves on non-smooth ground. Colloque “ Propagation radioélectrique ” Caractérisation de l’environnement Rennes (INSA), SEE, Nov 2023, Rennes, France. hal-04655152

HAL Id: hal-04655152

<https://unilim.hal.science/hal-04655152>

Submitted on 21 Jul 2024

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.

Projet PSOL Propagation longue distance d'ondes de surface sur des sols non lisses

N. Bui¹, C. Guiffaut², A. Reineix², N. Muot³, S. Leman⁴

¹Univ. Limoges, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, Nicolas.Bui@xlim.fr

²CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, Christophe.Guiffaut@xlim.fr

³AxesSim, Rue Jean Sapidus — Bât. Le Pythagore, 67400 Illkirch-Graffenstaden, Nathanael.Muot@axessim.fr

⁴THALES SIX GTS France/CDS/ITS/DES, 4 Av. des Louvresses, 92230 Gennevilliers, Samuel.Leman@thalesgroup.com

Résumé Ce projet ANR propose de réaliser un logiciel de simulation pour la prédiction de la propagation d'ondes électromagnétiques en milieu complexe et sur une large bande (HF, VHF, UHF) à des fins d'études de liaisons de communications ou de détection radar. Cet outil doit intégrer la complexité d'un environnement réel : hétérogénéité du sol et son profil, la végétation, les zones aquatiques, les obstacles diffusants... Les premiers travaux en cours concernent : la génération de scènes, sa modélisation électromagnétique et la simulation numérique de propagation longue distance.

I. Introduction

La propagation horizontale d'ondes radioélectriques à la surface du sol est sujette à de nombreuses perturbations liées à l'environnement terrestre, comme illustré sur la figure 1. La végétation, le taux d'humidité, la nature du sol et le relief introduisent des phénomènes de rétrodiffusion, d'absorptions et de dispersion sur le rayonnement électromagnétique qui vont impacter le bilan de liaison entre des objets communicants (véhicules, infrastructures) ou des couples d'émetteur – récepteur. La prédiction du rayonnement dans le contexte de communications terrestres n'est pas maîtrisée et nécessiterait une prise en compte rigoureuse de l'environnement sur des distances importantes. Par exemple, l'intégrale de Sommerfeld peut être utilisée pour traiter les différentes ondes de sol et de surface mais elle reste limitée à des sols homogènes voire stratifiés et lisses en surface.



Figure 1. Illustration d'environnement complexe pour les communications terrestres. Image : Ministère des Armées.

Ce projet propose de répondre à ces exigences par la

réalisation d'un logiciel de simulation large bande pour traiter efficacement des propagations longues distances, soit plusieurs milliers de longueur d'onde.

La modélisation sera réalisée en 3D, elle devra prendre en compte des terrains réels et cible les bandes HF, VHF et UHF pour couvrir la plupart des communications terrestres civiles et militaires. Elle intègre aussi les dispositifs antennes et porteur en émission et en réception. Nous nous appuyons sur la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) et nous proposons de développer les techniques de fenêtre glissante [?], de décomposition de domaines et de montée en ordre sur le schéma numérique afin d'augmenter la précision sur des maillages plus relâchés et de réduire la dispersion numérique.

Les premiers travaux ont porté sur les étapes principales de la solution logicielle : la génération de scène, leur modélisation électromagnétique (EM) et le solveur pour la simulation longue propagation.

II. Génération de scènes et modélisation électromagnétique pour la simulation

Les défis de génération de scènes sont principalement la volumétrie des données et de leurs traitements pour préparer la simulation. Cette volumétrie dépend fortement du type de données et de la finesse requise par le modèle EM. On cible en premier lieu les données volumineuses de la canopée puisque celle-ci est constituée de branches et feuilles à géométries très variables sur une vaste zone. C'est l'un des objectifs du projet : la réduction de la volumétrie des données et du temps de génération de scènes en remplaçant la canopée par une couche diélectrique au moyen de modèles EM équivalents de végétation [?]. Sur la figure 2 une première séquence de construction d'un modèle EM a été identifiée à partir d'un modèle numérique de surface classifié, par exemple un nuage de points type LiDAR :

- 1) construction d'un modèle de hauteur de canopée
- 2) détection de chaque arbre et de sa couronne
- 3) reconstruction de ces arbres
- 4) application de modèles EM équivalents

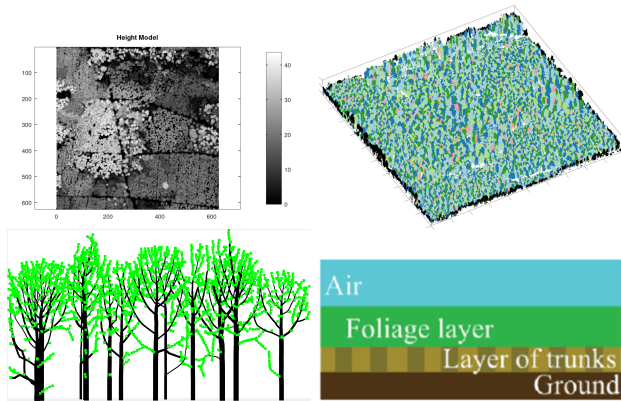


Figure 2. Haut en bas : Modèle de hauteur de canopée, segmentation des arbres, reconstruction 2D d'arbres, exemple d'un modèle équivalent de forêt (modèle de Tamir). Données, modèle et segmentation : exemple issu de Digital Forestry Toolbox [?].

Les traitements de données de terrain sont effectués au moyen d'algorithmes de type détection et segmentation d'arbres comme [?], [?], et aussi de reconstruction d'arbres [?] à divers degrés de complexité et précision. En fonction de la bande de fréquence et de conditions de validité à affiner (densité, hétérogénéité ...), des modèles d'homogénéisation pourront être appliqués comme les formules de type Bruggeman ou des modèles équivalents se basant sur une discrétisation par objets canoniques et représentatifs des arbres [?]. Il est également envisagé d'une part de construire une base de données de paramètres EM pour des catégories de type d'arbres et végétation ; d'autre part, d'étudier la possibilité de déduire ces paramètres à partir d'autres types de données disponibles (par exemple l'intensité retour pour le LiDAR).

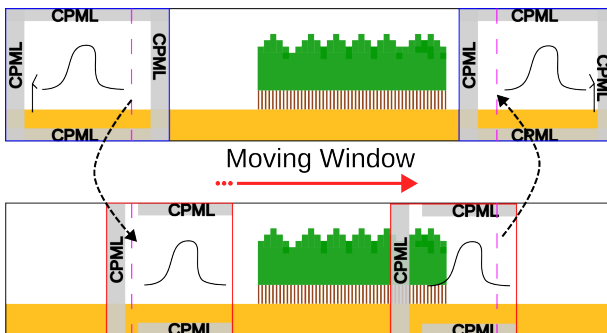


Figure 3. Illustration 2D de la simulation d'une propagation longue distance : décomposition de domaines combinée avec la fenêtre glissante (encadré rouge). Domaines fixes (encadrés bleus) : émetteur à gauche, récepteur à droite. Surface de type Huygens (magenta) pour le transfert de l'onde.

Le calcul du champ EM sur un domaine très large s'avère très coûteux, alors que l'étude ici peut se restreindre à une certaine zone mobile contenant le signal d'intérêt (par exemple le front d'onde). La restriction du calcul à une telle zone est possible avec l'implémentation de la technique de fenêtre glissante [?] dans le solveur FDTD. Dans ce cadre, le domaine de simulation se déplace

suivant le front d'onde. Elle implique des précautions de mise en oeuvre comme la mise à jour des données sur l'avant de la scène glissante et des conditions aux frontières ajustées pour une propagation horizontale.

Cette technique combinée avec de la décomposition de domaine permet de simuler une propagation de la manière suivante, comme illustré sur la figure 3 : L'émetteur à gauche envoie une impulsion qui sera transférée à la fenêtre glissante, via une surface de type Huygens. La fenêtre glissante parcourt le reste du domaine, et à nouveau, une surface de type Huygens transfère l'onde vers le domaine de calcul du récepteur. Avec un choix judicieux de la taille de cette fenêtre, les temps de calcul peuvent être significativement réduits, sans perte notable sur la qualité de la prédiction du champ.

III. Perspectives

Outre la continuité des efforts sur les sujets ci-dessus, la poursuite des travaux concerne aussi d'autres problématiques numériques sur la méthode FDTD : D'une part la dispersion numérique produit un effet d'étalement du signal temporel qui détériore la qualité des résultats, d'autant plus sur de longues distances. L'ordre supérieur du schéma FDTD permet de réduire significativement ces erreurs. De plus, il sera aussi possible de simuler sur une résolution plus faible, avec un gain substantiel sur les temps de calcul. D'autre part, les frontières du domaine de calcul doivent être adaptées afin de ne pas réfléchir les ondes propagatives en incidence rasante, incidence à laquelle la méthode peut être en difficulté.

La décomposition de domaines sera étudiée pour la transition entre une zone de calcul translatée diagonalement, afin de pouvoir réduire la hauteur du volume de calcul et ainsi diminuer les temps de calcul. La méthode FDTD conforme pourra être implémentée afin de prendre en compte la géométrie curviligne des volumes diélectriques et d'améliorer la précision des prédictions.

Remerciements

Ce projet est financé par la DGA AID.