Système MIMO pour imager le proche sous-sol

Contexte :
L'utilisation des ondes électromagnétiques micro-ondes est particulièrement adaptée pour le sondage non-destructif du sous-sol. Les applications potentielles concernent différents domaines : génie civil (imagerie des canalisations), humanitaire (détection des mines anti-personnelles), agricole (imagerie de l'humidité et optimisation de l'arrosage), environnemental (gestion des ressources en eau, limitation du drainage des polluants). L'imagerie micro-onde consiste à ''interpréter" le phénomène de diffraction résultant de l'interaction d'un signal incident avec la zone illuminée. Le champ mesuré est ensuite traité grâce à un algorithme d'inversion afin de déterminer la cartographie de la zone d'intérêt (carte de permittivité complexe) [Zhang2011], [Voznyuk2013]. Dans le cas de l'imagerie du sous-sol, les difficultés sont dues en particulier au nombre limité de données dû à l'aspect incomplet de la configuration (le champ ne pouvant être mesuré qu'au–dessus du sol), à la perte d'énergie à l'interface air/sol et à l'atténuation des ondes dans le sol (milieu à pertes). Une recherche de toute l'information disponible et un choix orignal de la configuration d'étude sont des points essentiels. Les récentes études de l'équipe HIPE de l'Institut Fresnel menées autour des radars de sol, en utilisant un milieu équivalent au sol, ont permis de mettre au point des procédures de traitement des mesures [Eyraud2010] et de calibration prenant en compte la modélisation du rayonnement des antennes [Nounouh2014a]. L'importance d'une modélisation précise du champ excitateur a ainsi été montrée et l'intérêt de la prise en compte du digramme de rayonnement des antennes lors de l'inversion quantitative, à partir de mesures et dans le cas d'une configuration en transmission, a permis une amélioration substantielle des cartes de permittivité reconstruites [Nounouh2015b]. Ces études ont mis en évidence qu'il était ainsi possible d'imager des cibles faiblement enfouies [Nounouh2015a].

Programme de travail :
Le but de la thèse est de proposer une amélioration substantielle des systèmes d'imagerie pour le proche sous-sol en mettant à profit un système multi-capteurs spécifiquement adapté pour la configuration étudiée. Une recherche conjointe prenant en compte les aspects expérimentaux, modélisation et inversion est un point clef dans cette étude. Cette fois-ci des milieux naturels hétérogènes seront considérés et mesurés en milieu contrôlé (chambre anéchoïque) et in-situ.
Pour compenser les problèmes liés à une configuration de mesure uniquement réalisée en réflexion et à la faible quantité intrinsèque d'information qui en découle, la thèse sera focalisée sur l'amélioration de l'acquisition des données, en particulier, sur le développement d'un dispositifs multi-voies permettant une meilleure diversité de l'information acquise (information spatiale et polarisation). Le but final est de pouvoir fournir des cartes du proche sous-sol qui soient quantitatives et fiables même dans des conditions de mesures présentement difficiles (humidité, hétérogénéité, ...).
Le doctorant devra donc se familiariser avec la mesure de champs électromagnétiques dans le domaine des hyperfréquences. Il s'attachera ensuite à comprendre la configuration de mesure actuelle, qui a été établie à partir d'un milieu équivalent au sol. Il travaillera ensuite sur l'optimisation de la configuration d'étude : sélection de la (ou des fréquences), impact de la polarisation des ondes, influence de l'illumination,... Cela lui permettra de définir une configuration d'étude optimisée (nombre d'antennes, positions de ces antennes, type d'antennes, orientation, polarisation, ...) permettant de capter au mieux toute l'information disponible lorsque le milieu sondé est un milieu naturel, potentiellement hétérogène. Il adaptera les traitements de mesures à cette nouvelle configuration. Il travaillera en étroite collaboration avec les membres de l'équipe développant des algorithmes d'imagerie, afin de définir les

paramètres expérimentaux appropriés permettant de reconstruire des images de la scène à partir des données mesurées. Il pourra ainsi analyser les images de la scène qui auront été reconstruites pour proposer de nouvelles pistes d'amélioration.

Ces activités menées autour des radars de sol (Ground Penetrating Radar) s'insèrent dans le TUD COST Action TU1208 (Transport and Urban Development COST Action TU1208 Civil Engineering Applications of GPR). Les encadrants de cette thèse font partie de plusieurs Working Groups qui abordent des problématiques d'instrumentation et de modélisation électromagnétiques et d'inversion associées au GPR.

Mots Clefs : Diffraction électromagnétique - Mesures micro-ondes - Design et techniques de mesure - Analyseur de réseaux vectoriel - Objet enfouis - Imagerie - Systèmes MIMO - Réseaux d'antennes - Proche sous-sol - Milieux dispersifs

[Nounouh2015a] S. Nounouh, C. Eyraud, A. Litman, H. Tortel, *Near-subsurface imaging in anabsorbing embedding medium with a multistatic/single frequency scanner*, Near Surface Geophysics, vol. 13, 3, pp. 211 - 218, 2015.
[Nounouh2015b] S. Nounouh, C. Eyraud, A. Litman, H. Tortel, *Quantitative imaging with incident field modelling from multistatic measurements on line segments*, IEEE antennas and wireless propagation letters, 14, pp. 253 -256, 2015.
[Nounouh2014] S. Nounouh, C. Eyraud, H. Tortel, A. Litman, *A. Modeling of the antenna effects and calibration for subsurface probing*, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 56, pp. 2516 - 2522, 2014.
[Voznyuk2013] I. Voznyuk, H. Tortel, A. Litman, *Scattered Field Computation with an Extended Feti-Dpem2 Method*, Progress In Electromagnetics Research, 39:247-263, 2013.
[Zhang2011] X. Zhang, H. Tortel, S. Ruy, A. Litman, *Microwave imaging of soil water diffusion using the linear sampling method*, IEEE GRS Letter 8 (3), 2011.
[Eyraud2010] C. Eyraud, J.-M. Geffrin, P. Lewyllie, A. Franchois, A. Dubois, *Target localization and measured scattered field pre-processing using spectral bandwidth minimization for shallowly buried target problems*, Microwave and Optical Technology Letters, 52, 2010.

Profil du candidat : Le candidat devra avoir de bonnes connaissances concernant les champs électromagnétiques, leur propagation et les spécificités du domaine hyperfréquences. Des compétences en électronique hyperfréquence ainsi qu'en conception d'antennes seront appréciées.
Financement DGA (acquis) - des critères de nationalité sont imposés (ressortissant d'un pays de l'Union Européenne ou de la Suisse).

Contact : Christelle Eyraud, Amélie Litman et Hervé Tortel
christelle.eyraud@fresnel.fr, amelie.litman@fresnel.fr et herve.tortel@fresnel.fr
Institut Fresnel, Equipe HIPE - Campus de Saint-Jérôme, F13397 Marseille, France
Page web de l'équipe : `http://www.fresnel.fr/spip/spip.php?article1100`