



Modélisation de la réflectance spectrale et directionnelle des sols en fonction de la teneur en eau

Modeling spectral and directional soil reflectance as a function of moisture content in the solar domain

Soutenance de thèse – Alice Dupiau

14 décembre 2022 à 10h00

Amphithéâtre de l'IPGP (1 rue Jussieu, 75005 Paris)

Devant le jury composé de :

Emmanuelle Vaudour	INRAE AgroParisTech	Rapportrice
Lionel Simonot	Institut P'	Rapporteur
Sabine Chabrilat	Leibniz University Hannover s	Examinatrice
Cécile Ferrari	Université Paris Cité	Examinatrice
Rodolphe Marion	CEA	Examinateur
Stéphane Jacquemoud	Université Paris Cité	Directeur
Xavier Briottet	ONERA	Co-directeur de thèse

Résumé :

La teneur en eau des sols (SMC pour soil moisture content) est une variable clé à la surface de la Terre. Son estimation est essentielle dans de nombreux domaines tels que l'agriculture, l'hydrologie, le climat, la défense ou la planétologie. Depuis les années 1970, la télédétection aéroportée ou satellitaire s'est imposée comme un outil efficace pour cartographier la teneur en eau des sols sur des zones étendues. L'eau peut être détectée à différentes profondeurs selon le domaine de longueurs d'onde : domaine solaire (0.3-3 μm), domaine infrarouge thermique (3-12 μm), ou domaine micro-ondes (0.5-100 cm). Le domaine solaire, qui fait l'objet de ce travail, donne accès à l'humidité de surface car la profondeur de pénétration de la lumière dans le sol n'excède pas un à deux millimètres. L'objectif principal de cette thèse est de développer un modèle physique, prenant en compte les effets spectraux et directionnels, validé sur une grande diversité de sols, qui permette de relier la réflectance du sol dans le domaine solaire à son humidité.

Une nouvelle version du modèle MARMIT appelée MARMIT-2 a été développée. Celle-ci représente un sol humide comme un sol sec surmonté d'une fine couche d'un mélange d'eau et de particules minérales, ce mélange constituant une spécificité majeure de MARMIT-2. La réflectance spectrale du sol humide s'exprime en fonction de la réflectance du sol sec et de trois paramètres d'entrée : l'épaisseur de la lame d'eau, la fraction de couverture de la lame d'eau et la fraction volumique de particules de sol dans la lame d'eau. MARMIT-2 a été testé sur une base de données de 225 échantillons de sol dont les spectres de réflectance ont été mesurés en laboratoire à plusieurs niveaux d'humidité. La prédiction des spectres de réflectance des sols humides a été améliorée, avec un RMSE passant de 2.2 % pour MARMIT à 0.9 % pour MARMIT-2.

Considérant que ces échantillons « lisses » ne sont pas représentatifs des sols naturels, beaucoup plus complexes, et dans le but d'adapter MARMIT-2 aux images hyperspectrales aéroportées ou satellitaires, nous avons étudié les effets directionnels de la rugosité du sol sur la réflectance en effectuant des simulations de BRF (bidirectional reflectance function) de sols rugueux et humides à l'aide du logiciel de lancer de rayons DART-Lux développé au CESBIO. Nous considérons des MNT (modèle numérique de terrain) de terrains artificiels et réels découpés en micro-facettes. Les propriétés optiques des facettes sont représentées par des modèles isotropes ou anisotropes, et la variation des paramètres de ces modèles permet de simuler la BRF des sols à différents niveaux d'humidité. Un couplage entre les effets spectraux et directionnels est proposé pour simuler des spectres de réflectance d'un sol rugueux à différents niveaux d'humidité et dans différentes conditions d'illumination et d'observation.

Après avoir étudié le lien entre les paramètres de MARMIT-2 et le SMC pour les échantillons de sols de la base de données, le SMC a pu être estimé avec une erreur quadratique moyenne de 3.6%. Un exemple de cartographie de

l'humidité du sol est donnée, en utilisant une image hyperspectrale d'un sol agricole acquise avec une caméra VNIR-SWIR placée à environ 15 m de hauteur au-dessus du sol.

Mots clés :

Modèle de transfert radiatif ; humidité de surface des sols ; télédétection ; domaine solaire ; BRDF ; hyperspectral ; MARMIT ; DART-Lux