



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

TITRE du SUJET : Modélisation de la réflectance spectrale et directionnelle des sols en fonction de la teneur en eau

Directeur :

JACQUEMOUD Stéphane, Professeur, jacquemoud@ipgp.fr

Co-directeur :

BRIOTTET Xavier, Directeur de recherche, xavier.briottet@onera.fr

Equipe d'accueil :

IPGP – Equipe de Planétologie et Sciences Spatiales – UMR7154

ONERA – Département Optique Théorique et Appliquée – Toulouse

Financement :

co-financement Ecole Doctorale (50%) – ONERA (50%)

<https://w3.onera.fr/formationparlarecherche/phy>

*Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

La teneur en eau des sols est une variable essentielle de la zone critique. Elle trouve de multiples applications dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la foresterie, l'écologie, l'hydrologie continentale, la micrométéorologie, la défense et la planétologie. L'eau est présente dans un sol sous plusieurs formes : (1) eau de constitution des minéraux hydratés ou phyllosilicates ; (2) eau de rétention capillaire dans les microporosités du sol ; et (3) eau gravitaire qui remplit les macroporosités du sol. A ce jour il n'existe pas de méthode standard de mesure de la teneur en eau d'un sol. D'autre part l'eau varie rapidement dans l'espace et dans le temps en raison de la variabilité spatiale des propriétés physiques des sols, du caractère discontinu des précipitations et de la dynamique de l'écoulement. La télédétection spatiale ou aéroportée permet de couvrir de vastes surfaces de façon répétitive. Contrairement aux mesures dans les micro-ondes qui permettent de déterminer une teneur en eau volumique dans les premiers centimètres du sol, le domaine solaire entre 0,4 et 3 μm (réflectance) offre la possibilité de déterminer une teneur en eau surfacique car le rayonnement solaire est très peu pénétrant.

Un modèle de transfert radiatif simple, MARMIT (*MultiAyer Radiative transfer Model of sol reflecTance*), a été développé dans le cadre de la thèse d'Aurélien Bablet (ONERA-IPGP). Il permet de calculer la réflectance spectrale d'un sol "lisse" dans le domaine solaire en fonction de sa teneur en eau massique. Il a été validé sur 217 échantillons de sols naturels (terrains agricoles ou forestiers, sable, etc.) et artificiels (sites urbains ou industriels, sols contaminés, minéraux, etc.) qui proviennent de sept jeux de données indépendants et couvrant une large gamme de couleurs et de textures. Bien que le modèle MARMIT permette d'estimer la teneur en eau d'un sol avec une bonne précision,

l'ajustement entre le spectre de réflectance modélisé et celui mesuré n'est pas totalement satisfaisant ; il ne permet pas de simuler la BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) des sols nus rugueux pour différents angles d'éclairement et de visée ; enfin il n'a pas été validé sur des mesures de terrain ou des images satellite.

Cette thèse a pour objectif de combler ces lacunes : un nouveau modèle de transfert radiatif simulant la réflectance spectrale et directionnelle d'un sol naturel à différents états d'humidité et de rugosité de surface sera développé et validé sur la base de MARMIT. Cela impliquera des travaux théoriques sur l'indice de réfraction complexe des constituants du sol (théorie du milieu effectif, relations de kramers-kronig) et sur le transfert radiatif dans les milieux poreux (modèle de Hapke). Cela impliquera l'acquisition de nouvelles données de télédétection en laboratoire, au champ et par des capteurs embarqués sur avion ou satellite pour étendre spatialement les résultats. Enfin cela impliquera des collaborations scientifiques avec des laboratoires de recherche français (IPAG, INRA, CEA) ou étrangers (Cornell University, The University of Arizona, Utah State University).

Profil souhaité

Ingénieur ou étudiant ayant un master en physique / géophysique / télédétection ; intérêt pour les surfaces terrestres et planétaires, la modélisation du transfert radiatif, la mesure radiométrique, le traitement d'images.

References

- Bablet A., Vu P.V.H., Jacquemoud S., Viallefont-Robinet F., Fabre S., Briottet X., Sadeghi M., Whiting M.L., Baret F., Tian J. (2018), MARMIT: a multilayer radiative transfer model of soil reflectance to estimate surface soil moisture content in the solar domain (400–2500 nm), *Remote Sensing of Environment*, 217:1-17.
- Bablet A., Viallefont-Robinet F., Jacquemoud S., Fabre S., Briottet X. (2019), Linking soil surface and in-depth soil moisture content through a laboratory experiment coupling a spectroradiometer and two hyperspectral cameras, *Remote Sensing of Environment*, en préparation.
- Fabre S., Briottet X. and Lesaignoux A. (2015), Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5 μm domain, *Sensors*, 15(2):3262-3281.
- Jacquemoud S., Baret F., Hanocq J.F. (1992), Modeling spectral and bidirectional soil reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 41(2-3):123-132.
- Labarre S., Ferrari C., Jacquemoud S. (2017), Surface roughness retrieval by inversion of the Hapke model: a multiscale approach, *Icarus*, 290:63-80.
- Labarre S., Jacquemoud S., Ferrari C., Delorme A., Derrien A., Grandin R., Jalludin M., Lemaître F., Métois M., Pierrot-Deseilligny M., Rupnik E., Tanguy B. (2019), Retrieving soil surface roughness with the Hapke photometric model: confrontation with the ground truth, *Remote Sensing of Environment*, en cours de révision.
- Lesaignoux A., Fabre S. and Briottet X. (2013), Influence of soil moisture content on spectral reflectance of bare soils in the 0.4-14 μm domain, *International Journal of Remote Sensing*, 34(7):2268-2285.

