

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2025-21**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 05 62 25 26 10

Responsable(s) du stage :  
Françoise Viallefont-Robinet

Email : [Francoise.viallefont@onera.fr](mailto:Francoise.viallefont@onera.fr)

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection, optique, sol nu, humidité

Type de stage :  Fin d'études bac+5  Master 2  Bac+2 à bac+4  Autres

#### Intitulé : Estimation de l'humidité des sols nus par télédétection optique

##### Sujet :

Depuis plusieurs années, le département Optique et Techniques Associées étudie l'impact de l'humidité sur la réflectance du sol [1] [4] [5] pour développer des méthodes d'estimation de l'humidité de surface du sol par télédétection optique passive couvrant le domaine réflectif [2] [3] pour différentes applications et plus particulièrement la traficabilité, l'occupation des sols et la détection de structures enfouies (pour l'archéologie par exemple). Plusieurs méthodes d'estimation de l'humidité superficielle des sols nus existent, notamment des méthodes empiriques s'appuyant sur des indices spectraux. Récemment, en collaboration avec l'IPGP, un modèle, appelé MARMIT [4] [5], a été développé basé sur une approche semi-physique.

MARMIT représente un sol humide par un sol sec recouvert partiellement ou totalement d'une lame d'eau. A partir des équations de Fresnel et de la relation de Beer-Lambert, il permet d'exprimer la réflectance du sol humide à partir de la réflectance du sol sec, de la fraction de sol couverte par l'eau,  $\epsilon$ , de l'épaisseur de la lame d'eau,  $L$ , et, pour la version 2 de MARMIT, de la concentration en particules dans la lame d'eau,  $\delta$ . Le lien entre les paramètres du modèle liés à la lame d'eau et le taux d'humidité du sol est établi à partir de mesures expérimentales en laboratoire.

La méthode d'estimation de l'humidité du sol associée, appelée MARMIT4SMC, est basée sur l'inversion du modèle MARMIT en supposant la réflectance du sol sec connue. Cette inversion permet d'obtenir, à partir de la réflectance spectrale observée, les valeurs des paramètres  $\epsilon$  et  $L$  puis d'en déduire l'humidité du sol. La réflectance du sol sec n'est pas toujours disponible. De plus, la représentativité de l'échantillon n'est pas assurée pour une zone étendue.

L'objectif de ce stage est de tester différentes approches pour améliorer l'estimation de la réflectance spectrale du sol sec et/ou diminuer son impact dans l'estimation de l'humidité du sol.

Les données exploitées dans le stage seront celles d'une campagne de mesure dédiée à la caractérisation du sol réalisée en été 2021 par l'ONERA. Cette campagne a permis d'acquérir, sur un sol nu dont la texture est plutôt limoneuse, des images hyperspectrales en réflectance de résolution spatiale centimétrique. On dispose ainsi d'images du sol sec et du sol humide. Des mesures ponctuelles de la réflectance spectrale de surface et des mesures avec des sondes d'humidité ont également été acquises. Des échantillons de sol ont été prélevés et ont été utilisés pour des mesures en laboratoire à différents niveaux d'humidité.

Le stage débutera par la prise en main du modèle MARMIT et de la méthode d'estimation de l'humidité du sol, MARMIT4SMC. La première étape sera d'exploiter l'image du sol sec dont nous disposons en sélectionnant une (ou des) réflectance(s) issue(s) de l'image en tant que réflectance du sol sec dans le modèle MARMIT. L'étape suivante consistera à modifier la méthode MARMIT4SMC pour limiter sa sensibilité à la réflectance du sol sec. Cette nouvelle méthode sera appliquée dans un premier temps aux spectres d'échantillons mesurés en laboratoire, puis à une image hyperspectrale du sol humide acquise en extérieur. Pour l'image traitée, les résultats obtenus seront comparés à des mesures terrain réalisées avec des sondes d'humidité. On évaluera ensuite l'apport de la version 2 du modèle MARMIT pour l'estimation de l'humidité.

- [1] Lesaignoux A., Fabre S. Briottet X. Alioso A., "Estimation of Soil Moisture Content of bare soils from their spectral optical properties in the 0.4 - 12  $\mu\text{m}$  spectral domain", IGARSS 3861-3864, 2010.
- [2] Fabre S., Briottet X., Lesaignoux A., "Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5  $\mu\text{m}$  domain." Sensors, 15(2):3262–3281, 2015. doi:10.3390/s150203262.
- [3] Oltra-Carrió R., Baup F., Fabre S., Fieuzal R., Briottet X., "Improvement of soil moisture retrieval from hyperspectral VNIR-SWIR data using clay content information: From laboratory to field experiments." Remote Sensing, 7(3):3184–3205, 2015. doi:10.3390/rs70303184.
- [4] Babet A. et al., "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, 2018.
- [5] Dupiau A. et al., "MARMIT2: An improved version of the MARMIT model to predict soil reflectance as a function of surface water content in the solar domain" Remote Sensing of Environment 272, 2022.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ?    Oui

**Méthodes à mettre en oeuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique            | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Non

**Durée du stage :**                      Minimum : 3 mois                      Maximum : 5 mois

Période souhaitée : Février à septembre 2025

**PROFIL DU STAGIAIRE**

|  |  |
|--|--|
| Connaissances et niveau requis :<br>Connaissances en physique et en optique, en particulier en radiométrie. Programmation en python. | Ecoles ou établissements souhaités :<br>3ème année d'école d'ingénieur ou master 2 universitaire |
|--|--|