

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Cartographie d'aléas des argiles par démélange intelligent spectral-spatial d'images hyperspectrales acquises par drone**

Référence : **PHY-DOTA-2020-20**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** Octobre 2020

**Date limite de candidature :** Juin 2020

**Mots clés**

hyperspectral, multi-temporel, discrimination des argiles, démélange, méthodes spectro-spatiales

**Profil et compétences recherchées**

Formation : Ecoles d'ingénieurs optique ou physique, master Recherche en géographie physique ou master en géosciences

Spécificités souhaitées : traitement signal/image, transfert radiatif, programmation scientifique

**Contexte et problématique :**

Les sols représentent un environnement complexe, dynamique dans le temps et l'espace, dans leur structure comme dans leur composition [1]. Ils fournissent des services essentiels à l'humanité tels que le stockage et la filtration de l'eau, l'aide à l'agriculture de précision, la séquestration du carbone pour réguler le climat et le soutien physique des bâtiments. En particulier, la connaissance de la composition du sol en minéraux argileux et sa cartographie sont nécessaires pour l'évaluation du risque « retrait-gonflement » qui affecte les constructions, ou la prise en compte des effets de ruissellement / d'infiltration lors des inondations. L'identification des sols impactés par ces phénomènes repose actuellement sur la reconnaissance de minéraux spécifiques soit par des mesures ponctuelles par exemple en utilisant la diffraction des rayons X (DRX) sur des échantillons soit à l'aide de cartes d'aléas (1:50000) produites à partir de données géologiques pour identifier ces formations argileuses. De telles cartes ne peuvent pas prendre en compte les hétérogénéités spatiales locales (1 à 100 m) [2]. Une autre solution réside dans l'utilisation de capteurs in situ et / ou proximaux. Plusieurs auteurs ont quantifié avec succès les argiles minéralogiques dans les sols [3-5] par spectroscopie de terrain et en laboratoire. Dans ces études, les mesures ont généralement été effectuées sur des sols secs afin de s'affranchir de l'impact de l'humidité sur la réflectance spectrale mesurée, et dans des conditions idéales d'éclairage. Mais une telle technique ne permet pas de couvrir de grande zone. L'imagerie hyperspectrale aéroportée permet de lever cette limitation et a été utilisée avec succès pour détecter et quantifier les argiles [6-8], malgré une faible résolution spatiale et un faible rapport signal sur bruit dans la plage spectrale des argiles (1000-2500 nm).

Des progrès récents dans les plates-formes de type drone embarquant de l'imagerie hyperspectrale devraient éliminer certaines de ces limitations grâce à un meilleur traitement spatial des images acquises. Par ailleurs, ils ouvriraient des possibilités de revisite pour des conditions environnementales différentes grâce à une mobilisation plus agile des capteurs. Ainsi, des acquisitions multiples sur un site bien renseigné, notamment sur ses caractéristiques lithologiques et géotechniques en surface et en profondeur, permettraient d'établir les relations entre les caractéristiques volumiques du sol et les acquisitions hyperspectrales de surface. Il serait alors envisageable de construire une carte d'aléas des argiles cohérente entre observations de surfaces et mesures géotechniques.

Ces avancées doivent offrir plus de pixels purs et donc améliorer la quantification des minéraux argileux. Mais quantifier les argiles minéralogiques en tenant compte du mélange des signatures spectrales des minéraux demande de vérifier les hypothèses d'une réponse spectrale linéaire du mélange ou la nécessité de prendre en compte une non-linéarité de cette réponse [9] en utilisant des méthodes de « démélange ». Enfin, devant l'accumulation de divers types de données disponibles (spectroscopiques, morphologiques, géologiques, pédologiques, environnementales, etc.), des méthodes de traitement multi-sources en utilisant des données exogènes peuvent aussi contribuer à élaborer des stratégies permettant de mieux conclure quant aux abondances en minéraux argileux sur des parcelles de sols nus et visibles en télédétection aéroportée.

Les travaux de Ducasse (2019) effectués dans le cadre d'une thèse BRGM-ONERA ont montré qu'il était possible de quantifier l'abondance de la montmorillonite par rapport à d'autres argiles minéralogiques (kaolinite et illite) et d'autres minéraux (calcite et quartz) en laboratoire mais également sur le terrain par spectroscopie hyperspectrale pour des résolutions spatiales de l'ordre du cm et en supposant connu a priori les pôles purs de mélanges (« endmembers »). Les performances sont fortement dépendantes de l'origine des endmembers (bases de données), du type de prétraitement appliqué aux spectres de réflectance avant démélange et du choix du modèle de mélange (linéaire ou non linéaire). Une des limitations de ces travaux

était que le sol étudié était sec.

### **Objectif de la thèse :**

L'objectif de cette nouvelle thèse vise à améliorer, valider et étendre notre méthodologie afin de construire une carte d'aléas d'argile à partir d'acquisitions aéroportées hyperspectrales sur porteur léger ULM ou drone. Dans ce but, les travaux se focaliseront sur une évaluation et amélioration des méthodes de démélange au changement d'échelle (passage du cm au dm, rôle des ombres locales et de la végétation éparses), le développement d'une nouvelle stratégie de recherche des pôles de mélange en utilisant l'ensemble de la zone couverte par un aéronef (apport du machine learning), l'évaluation de l'apport de données exogènes (cartographie des sols au 1:50 000) et/ou d'acquisitions multi temporelles pour améliorer nos estimations, afin de mieux prendre en compte l'humidité du sol.

Plusieurs étapes sont identifiées :

1. Réalisation de campagnes d'acquisitions avec porteur léger sur différents types de terrain. Le doctorant disposera de plusieurs jeux de données. Un premier jeu de données a déjà été acquis dans le cadre de la thèse de Ducasse à partir de caméras hyperspectrales placées en haut d'une nacelle (12 m) et il sera utilisé pour effectuer les premiers développements et comparaison de méthodes de discrimination des argiles. Un deuxième jeu de données sera acquis au cours de cette thèse à partir de caméras à bord d'un avion léger sur deux zones (une zone de référence instrumentée et une deuxième zone pour appliquer et valider les méthodes). Ce jeu de données sera composé de plusieurs campagnes d'acquisition au cours de l'année pouvant correspondre à différents états d'humidité.
2. Evaluation des méthodes développées dans le cadre de la thèse de Ducasse à l'échelle de la résolution spatiale des acquisitions sur avion léger (typiquement dizaines de centimètres) sur différents types de sol ayant des contenus en argile différents en prenant en compte les données multitemporelles. En effet, la prise en compte de plusieurs prises de vue au cours de l'année devrait permettre de mieux évaluer le comportement de ces méthodes en milieux naturels. Une attention particulière portera sur l'analyse de l'influence de la granulométrie et de l'humidité superficielle des sols sur les performances.
3. Evaluation de l'impact des endmembers choisis (base de données USGS, vérité terrain, spectres de mélanges synthétiques, etc.) et du type de modèle de mélange pour une convergence optimale des algorithmes. Dans ce cadre, deux voies seront analysées. La première s'appuiera sur l'utilisation de données exogènes issues de cartes géologiques, pédologiques, minéralogiques, etc. qui seront analysées afin de mieux contraindre nos algorithmes. La seconde voie s'appuiera sur l'exploitation de l'intégralité des pixels d'une image hyperspectrale (autre que la moyenne et l'écart-type des spectres, traditionnellement utilisés) afin d'en retirer des règles de classification qui permettront d'identifier des « clusters » de comportement homogène, puis d'en extraire le groupe considéré comme meilleur candidat en tant qu'endmember aux algorithmes de démélange. Cela permettra entre autres de comparer les performances entre des approches par pixel et par objet, ainsi que la combinaison de critères à la fois spatiaux et spectraux. Enfin ces différentes méthodes seront comparées afin de définir la meilleure procédure pour obtenir une carte d'abondances en argiles minéralogiques.
4. Production d'une carte d'aléas utile à l'évaluation du risque « retrait-gonflement ». Il s'agira de pouvoir croiser des informations hyperspectrales (carte d'abondances des argiles) et des données lithologiques, pédologiques, minéralogiques... La sélection des sites de par leurs caractéristiques sera un critère majeur à investiguer dans cette thèse afin d'offrir un caractère d'exemplarité pour établir une carte d'aléas. Ainsi des questions telles que le choix de sites naturels, agricoles ou en zones anthropiques (constructions) devront être abordées en particulier sous les angles apports et limitations pour l'investigation pluridisciplinaire envisagée.

Le candidat s'appuiera sur les compétences de 3 laboratoires BRGM, LPG et ONERA. Le doctorant partagera son temps entre le BRGM-Orléans (50%), et l'ONERA-Toulouse (50%).

- [1] Carmon N, Ben-Dor E. An advanced analytical approach for spectral based modelling of soil properties. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2017; 7(3):90-97
- [2] Bouchut J, Giot D. Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Loiret. Rapport technique RP-53316-FR, BRGM. 2004. Available from: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53316-FR.pdf>
- [3] Dufréchoy V, Grandjean G, Bourguignon A. Geometrical analysis of laboratory soil spectra in the short-wave infrared domain: Clay composition and estimation of the swelling potential. *Geoderma*. 2015; 243-44(2015):92-107
- [4] Mulder VL, Plötze M, de Bruin S, Schaepman ME, Mavris C, Kokaly RF, et al. Quantifying mineral abundances of complex mixtures by coupling spectral deconvolution of SWIR spectra (2.1-2.4 mm) and regression tree analysis. *Geoderma*. 2013; 207-208:279-290
- [5] Viscarra Rossel RA, McGlynn RN, McBratney AB. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*. 2006; 137(1-2):70-82
- [6] Bedini E, van der Meer F, van Ruitenbeek F. Use of HyMap imaging spectrometer data to map mineralogy in the Rodalquilar caldera, Southeast Spain. *International Journal of Remote Sensing*. 2009; 30(2): 327-

- [7] Chabrilat S, Goetz AFH, Krosley L, Wolsen H. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution. Remote Sensing of Environment. 2002; 82(2-3): 431-445
- [8] Kruze FA, Boardman JW, Huntington JF. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2003;41(6): 1388-1400
- [9] Ducasse, E., 2019. Cartographie fine de l'argile minéralogique par démélange d'images hyperspectrales à très haute résolution spatiale. Thèse 3eme cycle, ISAE, Toulouse.

### Collaborations envisagées

BRGM (G. Granjean, Anne Bourguignon, Audrey Hohmann), LPG (Véronique Carrère)

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

**Contact** : Xavier Briottet, Karine Adeline

Tél. : 0562252605      Email : [xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr),

Tél. : 0562252668      Email : [karine.adeline@onera.fr](mailto:karine.adeline@onera.fr)

#### Directeur et co-directeur de thèse

Nom : Xavier Briottet et Gilles Granjean

Laboratoire : ONERA et BRGM

Tél. : 0562252605 / (+1) 530-752-0621

Email : [xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr),

[g.grandjean@brgm.fr](mailto:g.grandjean@brgm.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>