

CARACTÉRISATION HYPERSPECTRALE DES EFFETS DE MATRICE DE SOL PAR COUPLAGE DE MODÈLES PHYSIQUES ET DE MÉTHODES D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

Corentin FERAY ^(1,2,3), Stéphane JACQUEMOUD ⁽²⁾, Paul HONEINE ⁽³⁾, Antonin VAN EXEM ⁽¹⁾

⁽¹⁾TELLUX, 72 rue Aristide Briand, 76650 Petit-Couronne, France

⁽²⁾Université Paris Cité, IPGP, CNRS, 75005 Paris, France

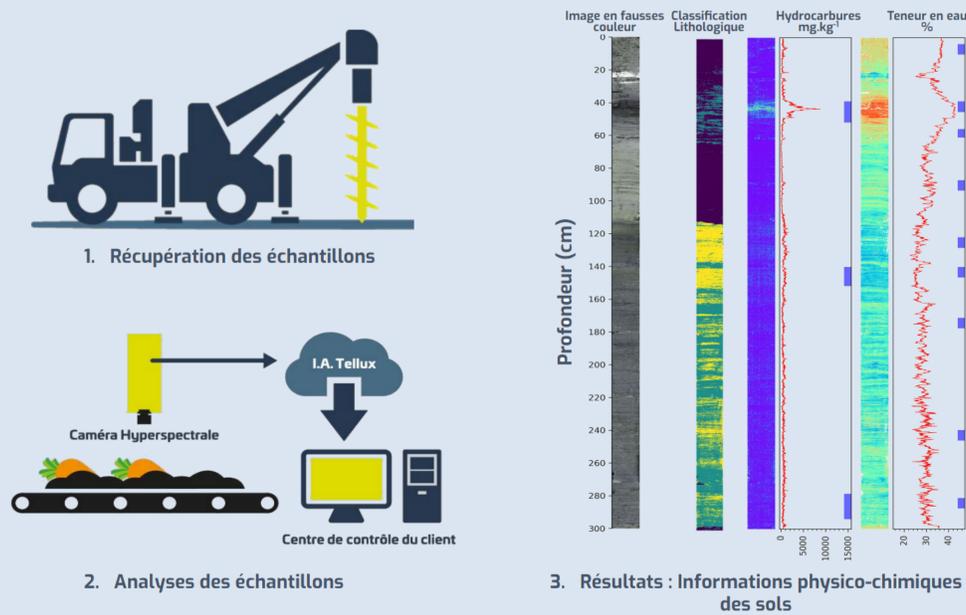
⁽³⁾Université de Rouen Normandie, LITIS, Avenue de l'Université, 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray, France

1. Introduction

L'imagerie hyperspectrale est une technique qui permet de capturer des informations détaillées sur les propriétés spectrales des sols en utilisant un grand nombre de bandes étroites dans le spectre électromagnétique. Les **effets de matrice** de sol se réfèrent aux interactions complexes entre les propriétés physico-chimiques du sol et ses propriétés optiques. Comprendre et quantifier ces effets est crucial pour interpréter avec précision les données hyperspectrales, notamment dans le contexte de la quantification de la **pollution des sols**. Cette thèse est réalisée dans le cadre d'un financement CIFRE en collaboration avec l'entreprise Tellux, qui couple la technologie hyperspectrale et l'intelligence artificielle pour évaluer la pollution des sols en temps réel.

2. Imagerie hyperspectrale

La technologie hyperspectrale est généralement associée au secteur spatial, mais notre approche se concentre sur la caractérisation à une échelle plus fine, en particulier des échantillons de sol ou des carottes prélevées lors de sondages. Ces échantillons sont placés sur un banc de translation, puis sont analysés à haute précision spatiale et spectrale à l'aide d'une caméra hyperspectrale. Les données hyperspectrales obtenues sont ensuite utilisées pour inférer les propriétés physico-chimiques des sols en utilisant des modèles de calibration.

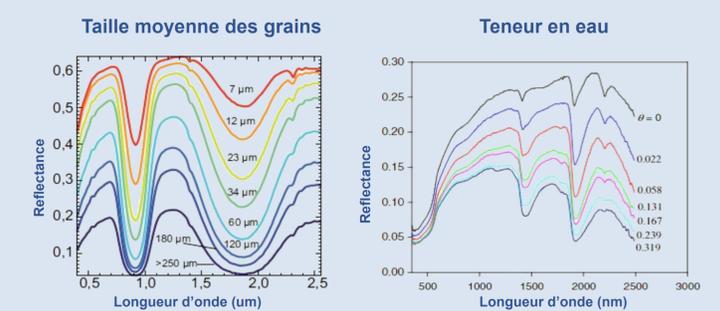


4. Sources de variabilité

De nombreux paramètres ont un impact sur les spectres de réflectance acquis par imagerie hyperspectrale [2]. Ces sources de variabilité peuvent être regroupées en 4 catégories.

1. Les paramètres liés à la **chaîne d'acquisition** sont indépendants de la scène observée et englobent des aspects tels que le type de caméra utilisée ainsi que le réglage des paramètres d'acquisition.
2. Les paramètres **environnementaux** sont liés à la géométrie de la scène, incluant des facteurs tels que l'illumination direct et diffuse ou encore les ombres et réflexions spéculaires.
3. Les paramètres **intrinsèques** sont directement liés à la composition et la morphologie des sols. Ils englobent les caractéristiques chimiques (oxydation, corrosion, hydratation), métamorphiques et morphologiques (granulométrie, porosité) des sols.
4. Les paramètres **extrinsèques** sont relatifs au fait que l'espace est discrétisé en pixels et incluent des sources de variabilités telles que la concentration d'un matériau dans le sol ou son épaisseur.

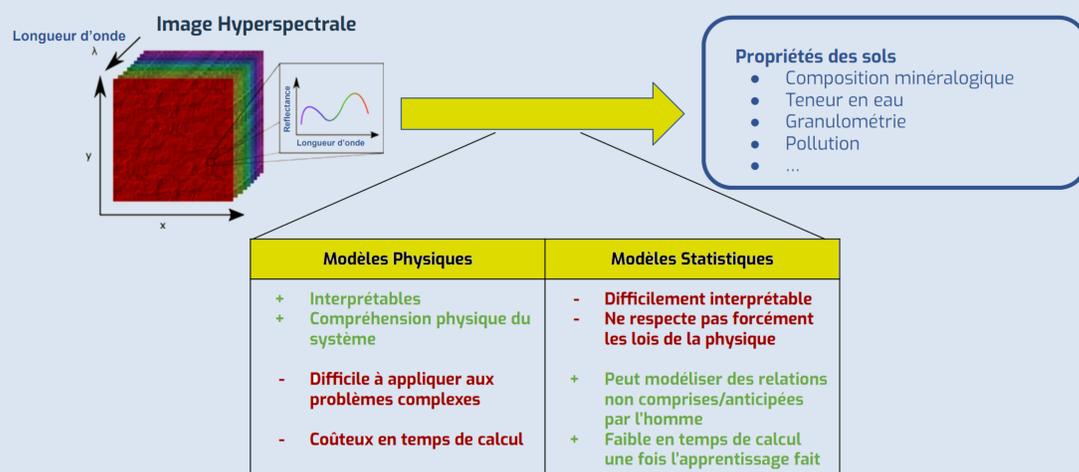
Les 2 dernières catégories sont directement liées aux propriétés du sol. Lors de l'analyse de la pollution des sols par imagerie hyperspectrale, deux effets de matrice majeurs sont à prendre en compte : la **teneur en eau** et la **taille moyenne des grains**. Ces effets ont un impact à la fois sur le continuum, qui est l'enveloppe convexe du spectre, et sur les bandes d'absorptions, qui permettent la quantification des différents constituants du sol.



Exemple de 2 effets de matrices sur les spectres de réflectance des sols

3. Modélisation hyperspectrale

Pour traiter les données hyperspectrales, il existe 2 grandes familles de modèles [1] : ceux basés sur la physique et ceux basés sur les données (dits data-driven). Les avantages des uns sont les faiblesses des autres et vice versa.



5. Travaux Futurs

Cette thèse vise à proposer une approche novatrice pour la caractérisation des effets de matrice de sol en combinant des modèles physiques et des méthodes d'apprentissage automatique. L'objectif principal est d'améliorer la précision et la fiabilité des modèles de calibration utilisés pour quantifier la pollution des sols.

Références

- [1] Jie Chen et al. "Integration of physics-based and data-driven models for hyperspectral image unmixing: A summary of current methods". In: *IEEE Signal Processing Magazine* 40.2 (2023), pp. 61–74.
 [2] Ricardo Augusto Borsoi et al. "Spectral variability in hyperspectral data unmixing: A comprehensive review". In: *IEEE geoscience and remote sensing magazine* 9.4 (2021), pp. 223–270.