



*3^e colloque du Groupe « SFPT-GH »
IGESA Porquerolles, 14-16 mai 2014*

Cartographie des argiles gonflantes en milieux tempérés à partir de données hyperspectrales aéroportées couplées à des données in situ et laboratoire

HOHMANN Audrey ; BOURGUIGNON Anne ; GRANDJEAN Gilles- BRGM Orléans



Projet de Recherche AGEOTHYP

- > **Objectif** : Etudier une méthodologie d'exploitation des images hyperspectrales couplées à des connaissances locales en vue d'affiner la cartographie de l'aléa Retrait-Gonflement des Argiles (RGA).
- > **Zone d'étude : Loiret (45)**
 - Site d'étude à l'ouest d'Orléans (Beauce)
- > **Approche**
 - Utiliser des données de nature et d'échelles différentes:
 - Géotechnique
 - Spectroscopie infrarouge terrain et laboratoire
 - Imagerie hyperspectrale aéroportée
- > **Durée : 18 mois (2013-2014)**
- > **Partenaire extérieur:**
 - Bureau d'étude Géotec, Olivet (45)



Sommaire

- > **Contexte**
- > **Etat des connaissances**
- > **Données d'entrée**
- > **Modèle de reconnaissance des argiles gonflantes**
 - Classification Image hyperspectrale
 - Calibration
 - Validation



Conclusion et perspectives

Contexte

> Zone d'étude

- Étendue (28 communes)
- Réduite (env 300 km² : image hyper)

> Géologie

- Formations au Nord de la Loire
- Formations au Sud de la Loire

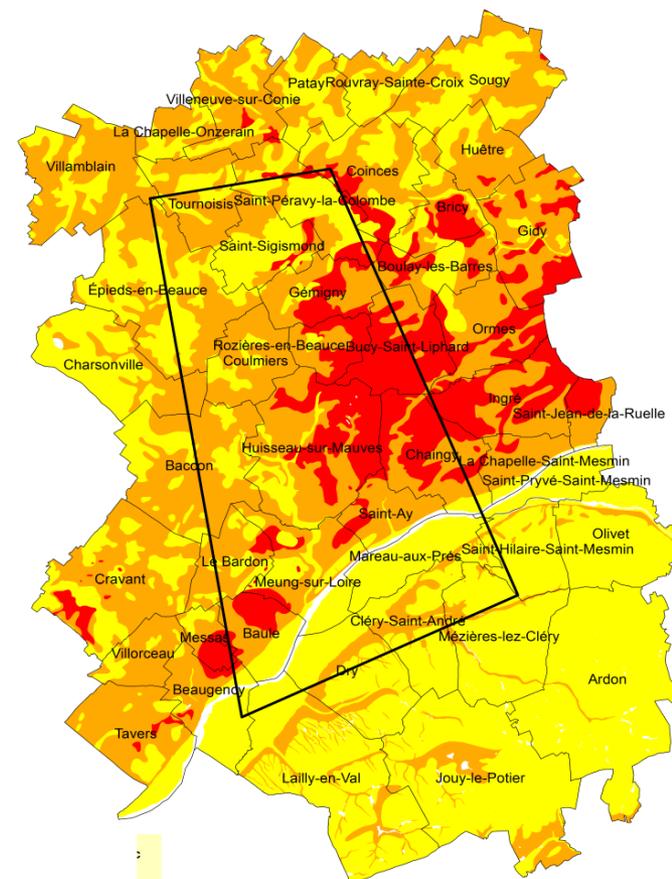
> Carte nationale Aléa RGA

- Formations argileuses et marneuses
- 3 niveaux d'aléa dans la zone
 - Nord / Sud de la Loire

Echelle: 1/50 000 → limites sur la précision

→ Nécessité d'avoir une carte à grande échelle et plus en surface

- > **Nombreux sinistres sur les constructions liés au RGA recensés dans ces communes (~ 1000)**



Aléa RGA



0 2.5 5 Kilomètres



Géosciences pour une Terre durable

brgm

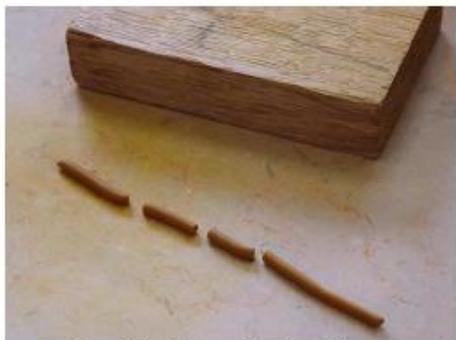
Les formations argileuses : *Variation en volume sous l'effet de la variation de la teneur en eau pouvant causer des mouvements différentiels de terrain susceptibles de provoquer des désordres au niveau du bâti*

La géotechnique :

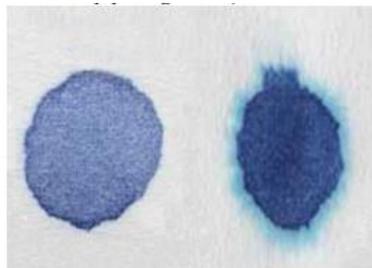
> Essais laboratoires : Les paramètres intrinsèques sont mesurés en laboratoire sur des échantillons représentatifs des sols à qualifier :

- **Courbe granulométrique**
- **Limites d'Atterberg** : Détermination des seuils de comportement mécanique correspondant à des teneurs en eau particulières : limites de plasticité (w_p), limites de liquidité (w_L), limites de retrait (w_R)
- **Indice de Plasticité (I_p)**: différence entre les limites de liquidité et de plasticité
- **VBS**: Valeur au Bleu de méthylène

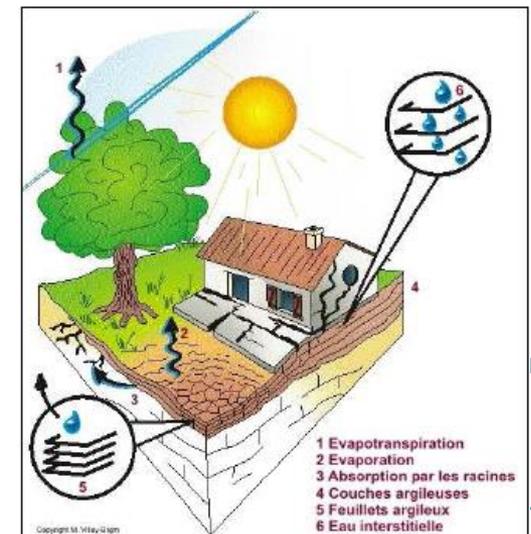
> Essais mécaniques de retrait-gonflement (essais de retrait, essais de gonflement)



Essai de détermination de w_p
($w_n = w_p$ au moment de la photographie)



Visualisation d'une tache de bleu sur papier filtre
(test positif à droite)



Les formations argileuses

Analyse minéralogique : Elle a pour but de déterminer directement la proportion et la nature des minéraux argileux, mais aussi la présence des minéraux non argileux pouvant jouer un rôle déterminant dans le comportement des sols.

> **Examen des notices géologiques et bibliographie sur les études spécifiques concernant les argiles de la zone étudiée ;**

> **Diffraction des rayons X (DRX) : Méthode de référence pour la détermination et la semi-quantification des phases argileuses**

➡ *Limites d'utilisation : coûts, échantillons ponctuels → pas de cartographie homogène possible, délais de résultats...*

> **Caractérisation par spectroscopie infrarouge**

- Mesures des spectres de réflectance diffuse aux longueurs d'onde comprises entre 0,35 et 2,5 μm (visible – infrarouge moyen).
- Le spectromètre infrarouge portable ASD FieldSpec® 3 possède 2 modes de configuration:
 - Terrain
 - Laboratoire



➡ *Caractérisation minérale rapide et facile d'utilisation : interprétation rapide du spectre permettant une première identification de la composition de l'échantillon*

Outil non destructif de caractérisation sur le terrain

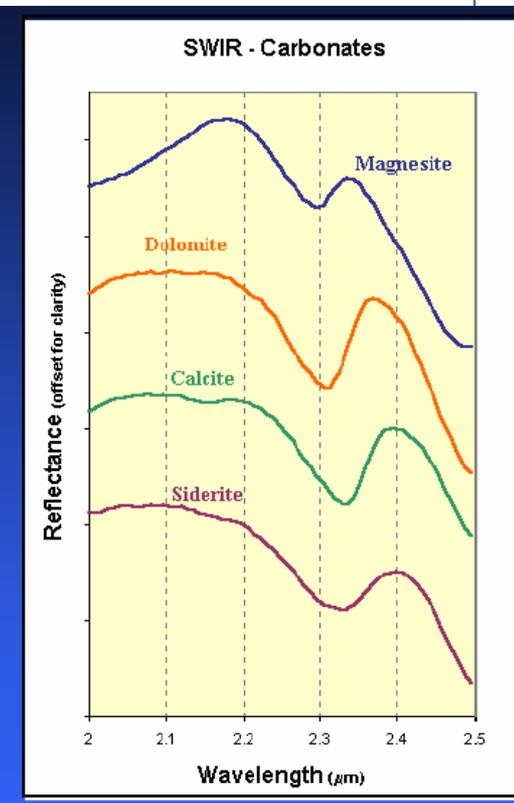
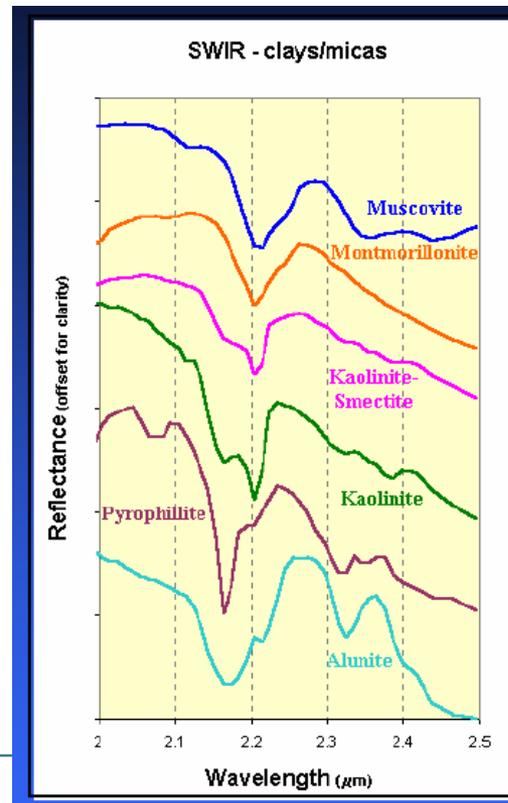
Caractéristiques spectrales des sols dans le SWIR

- > Les trois types d'argiles rencontrés les plus fréquents dans les sols français sont :
 - **l'illite** (svt argiles interstratifiées avec la smectite)
 - **La montmorillonite (smectite)** (svt argiles interstratifiées avec l'illite ou la chlorite)
 - **la kaolinite**
- > Le groupe des smectites est beaucoup plus sensible que les kaolinites et leurs variations de volume plus importantes.

➔ Les minéraux argileux possèdent des réponses spectrales bien caractéristiques vers ~~1400~~, ~~1900~~ et 2200nm.

Fenêtre utile > 2000 nm

Minéraux	Diagnostic (nm) Principal, secondaire
Kaolinite	2166 , doublet 2206
Illite	2208 , 2347, 2440
Montmo	2208



Difficultés - Enjeux

Cartographier à grande échelle les sols sensibles au Retrait-Gonflement à partir d'images hyperspectrales en milieu tempéré :

Contraintes Géographiques → fort couvert végétal, suivi du calendrier agricole pour les sols nus, humidité des sols, conditions météorologiques

- > Imagerie hyperspectrale aéroportée:** mise en œuvre (plate-forme adaptée), disponibilité et le coût de l'utilisation de capteurs aéroportés → budget important pour une étude
- > Changement d'échelle laboratoire-terrain-image**
 - Données images hyperspectrales avec un rapport signal/bruit bien plus faible que les données de spectroscopie laboratoire ou de terrain.
 - La surface du sol n'est pas toujours plate, lissée ou homogène contrairement aux préparations laboratoires. La taille d'un pixel ne peut être représentative d'un point de mesure sur le terrain.
 - Fenêtres utiles plus nombreuses en labo

→ Zone d'étude riche en Sols argileux et marneux, nombreux évènements de RGA observés

Le département du Loiret offre un « terrain de jeu » adéquate → contraintes réelles de l'observation des sols nus argileux en zone tempérée.

Imagerie hyperspectrale aéroportée

Campagne de vol aéroportée

- 19 février 2013 : absence totale de couverture nuageuse, sols nus nombreux, hiver pluvieux
- 32 lignes de vol → 170 images
- Capteurs hyper imageurs de type Hypspec

Résolution spatiale

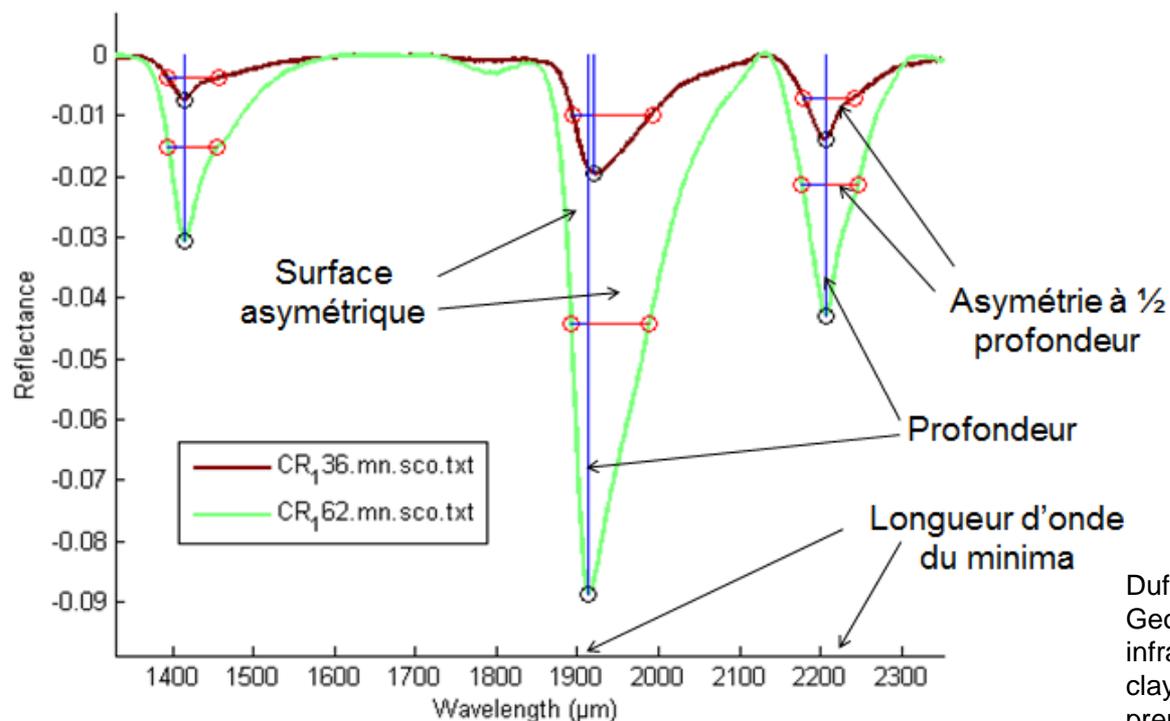
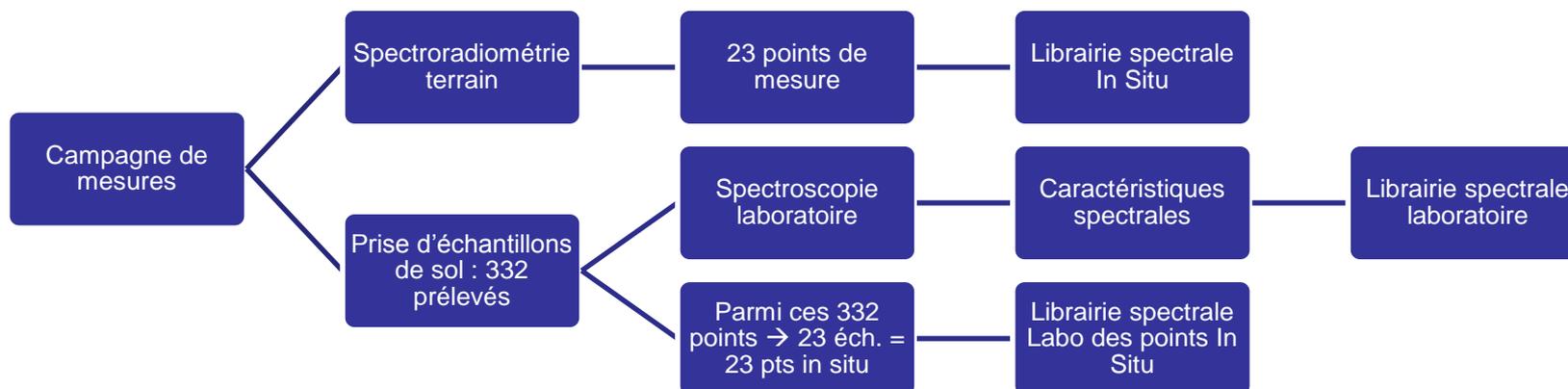
- VNIR: 1m } FUSION: 2m 408 bandes spectrales
- SWIR: 2m } entre 400 et 2500 nm

Module	Détecteur	Pixels spatiaux	FOV across-track	IFOV across / along - track	Gamme spectrale	Résolution spectrale	Echantillonnage Spectral	Nb. bandes spectrales	Dynamique	Vitesse acquisition
VNIR-1600	Si CCD	1600	34°	0.36 / 0.72 mrad	0.4 – 1 μ m	4.5 nm FWHM	3.7 nm	160	12 bit	120 fps
SWIR-320mc	HgCdTe	320	27°	1.5 / 1.5 mrad	1 – 2.5 μ m	6.25 nm FWHM	6.25 nm	256	14 bit	100 fps

Corrections atmosphériques réalisées par le prestataire en 2 étapes :

- correction à l'aide du modèle ATCOR4
- ajustement de la correction en sortie de modèle à l'aide de mesures spectrométriques au sol.

Spectroscopie laboratoire et terrain

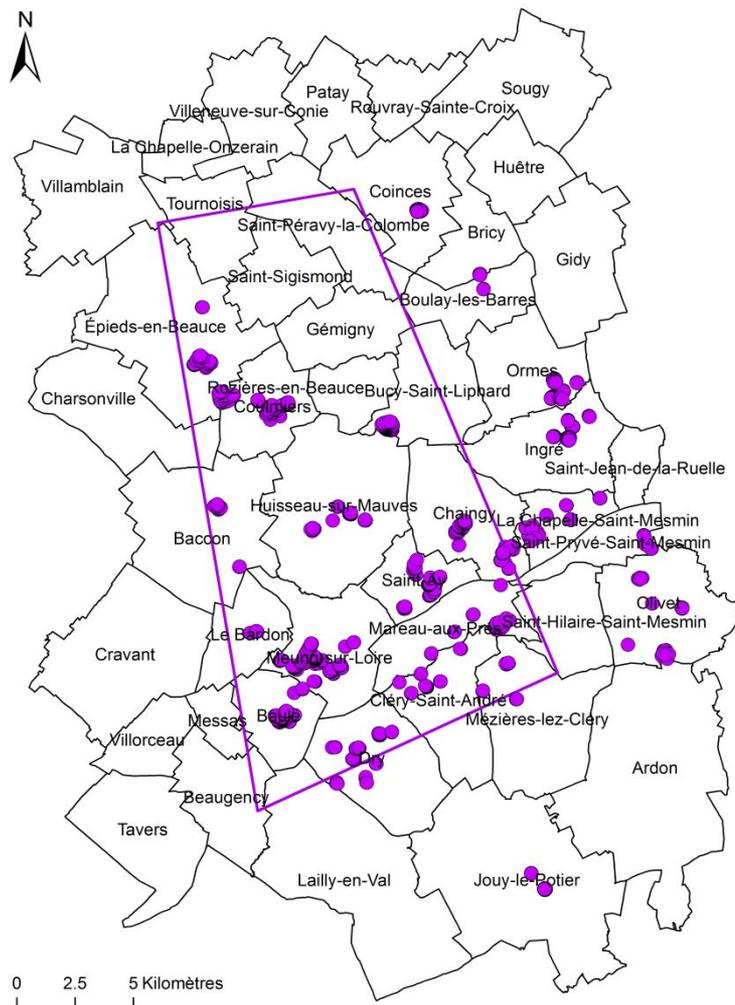


De la caractérisation spectrale à la caractérisation minéralogique grâce à l'utilisation de l'outil Matlab et sa BD spectres de référence (Dufréchou & al., 2013):

→ Estimation % teneur en montmorillonite calculés à partir des spectre de réflectances mesurés en laboratoire sur les 332 échantillons de sols prélevés

Dufréchou G, Grandjean G, Bourguignon A, 2013, Geometrical parameters of soil spectra in the shortwave infrared domain, part 1 : clays composition and the swell potential estimation, in prep. Geoderma.

Données Géotechniques



> Etude des archives du BE GEOTEC

- Mise en place d'une zone étendue spatialisée

Zone étude étendue

Etude	129
-------	-----

→ BD GEOTEC

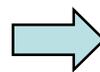
Points	961
--------	-----

- Plusieurs tables dor (VBS, ...)

VBS	30
-----	----

- Profils géologiques

Ip	58
----	----



Inconvénients: études de sols avec peu d'essais labo réalisés (sondages pénétro et pressio suffisants); localisation des points des études pour les constructions

> Projet AREGON en cours (BRGM) :

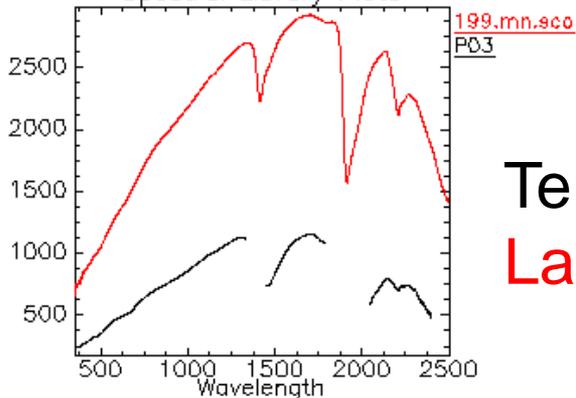
- Essais laboratoire sur 1/5^{ème} des échantillons de sols prélevés (DRX, VBS, granulo, limites d'Atterberg, ...)
- Analyse des limites de chacune des méthodes
- Sélection des méthodes transposables sur le terrain

Classification des images hyperspectrales

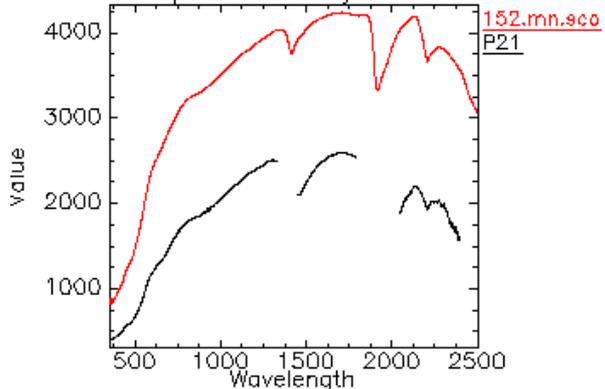
➤ Logiciel ENVI : Essais de classification sur l'image fusionnée à 2 m

- Méthode de classification non supervisée
- Méthodes de classification supervisée basées sur nos librairie spectrales terrain et laboratoire, ou sur des pôles purs (outil Spectral Automated Hourglass)

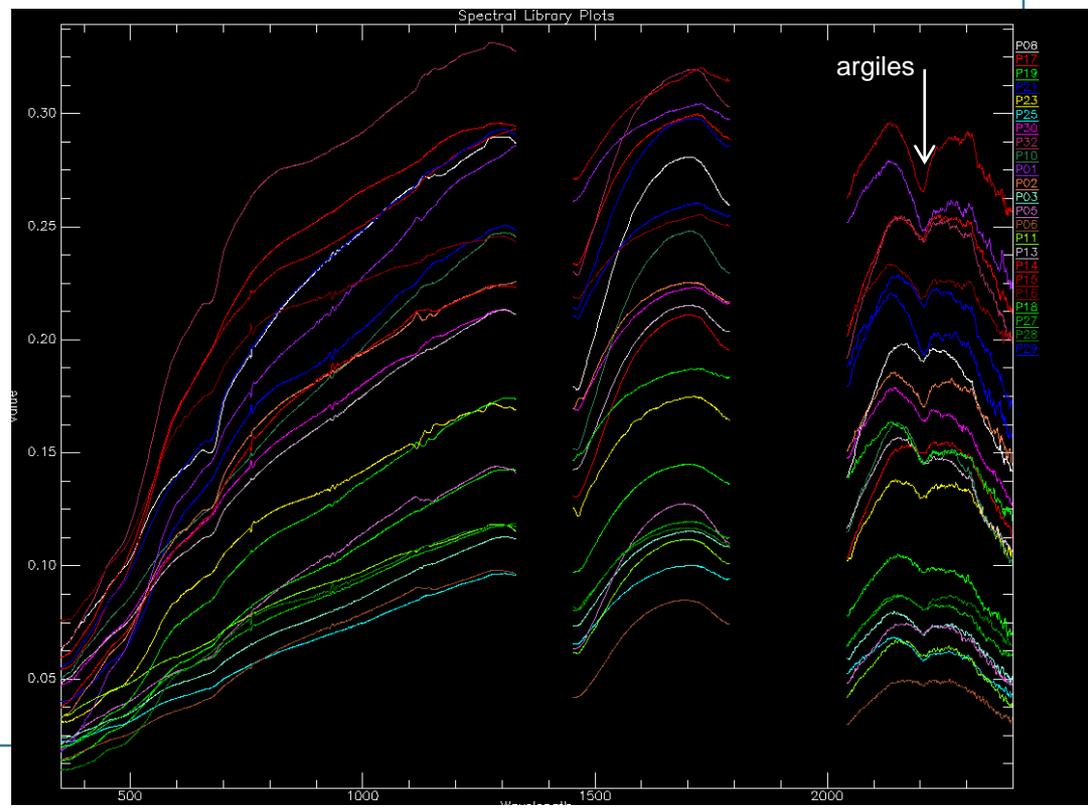
Spectral Library Plots



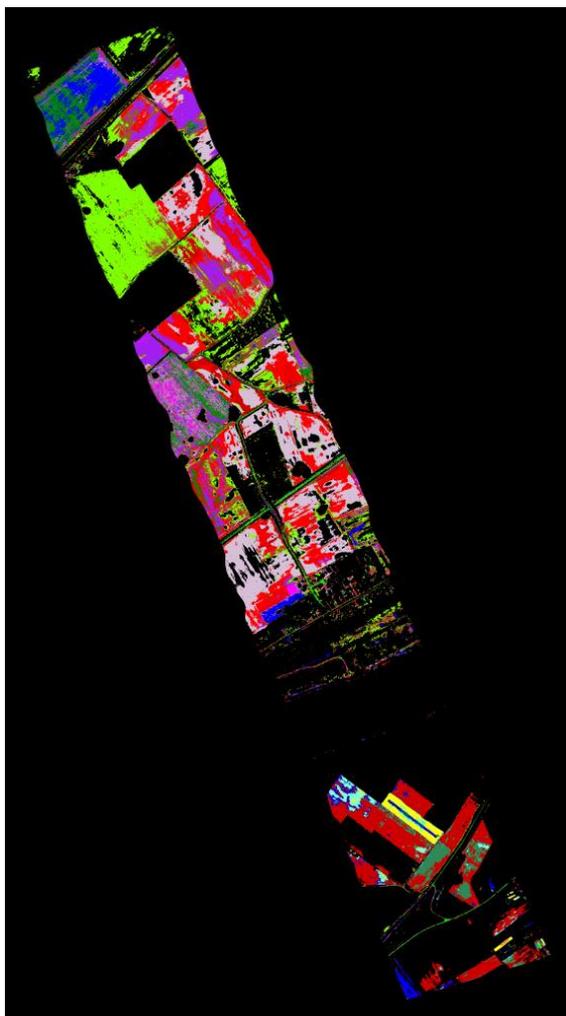
Spectral Library Plots



Librairie spectrales points terrain février 2013

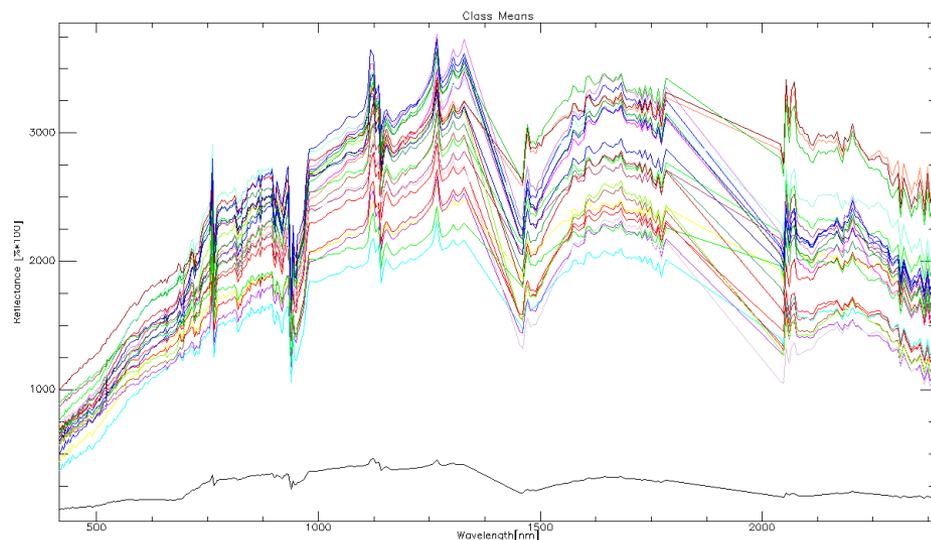


Classification des images hyperspectrales



> Résultats

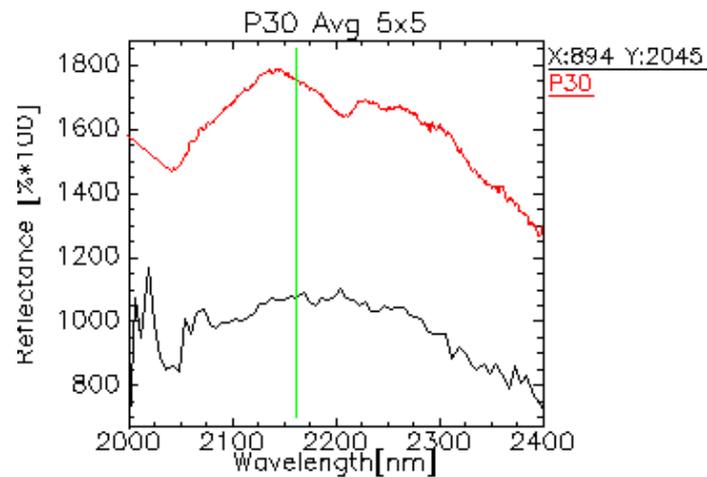
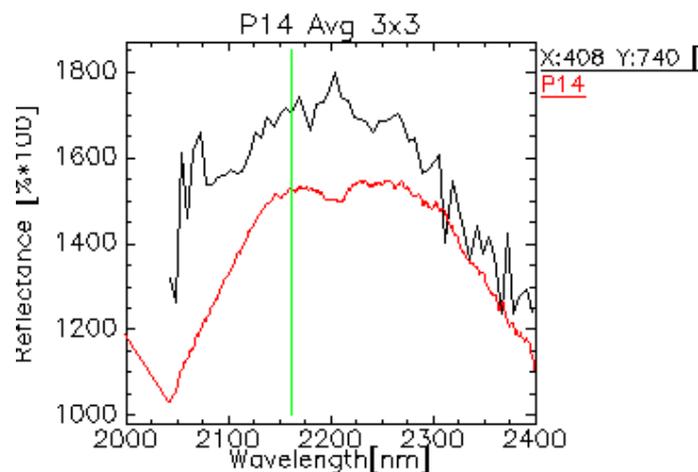
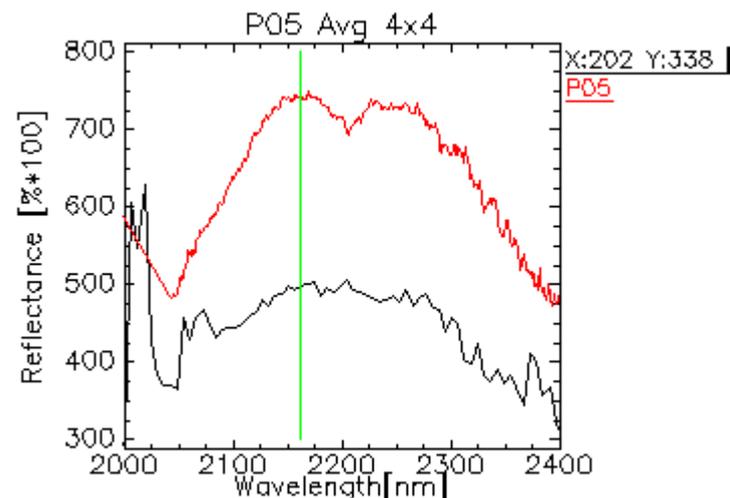
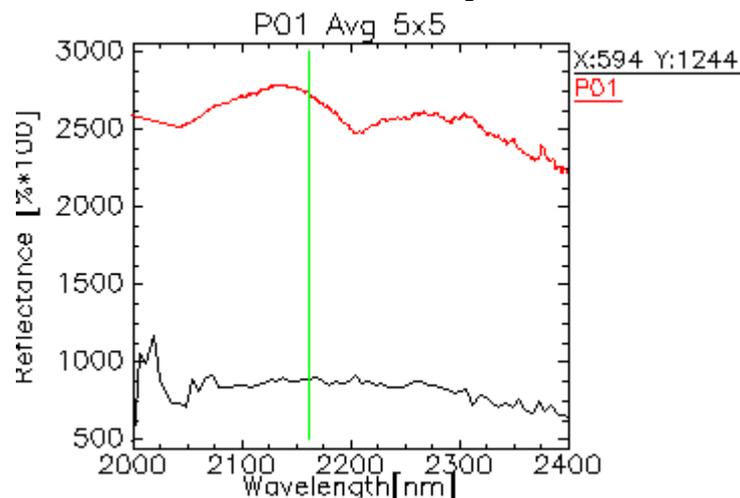
- Aucun résultat concluant avec les méthodes de classification disponibles
- Rapport Signal/Bruit très faible → spectres trop bruités



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Comparaison spectres terrain et spectres image sur fenêtre moyennée



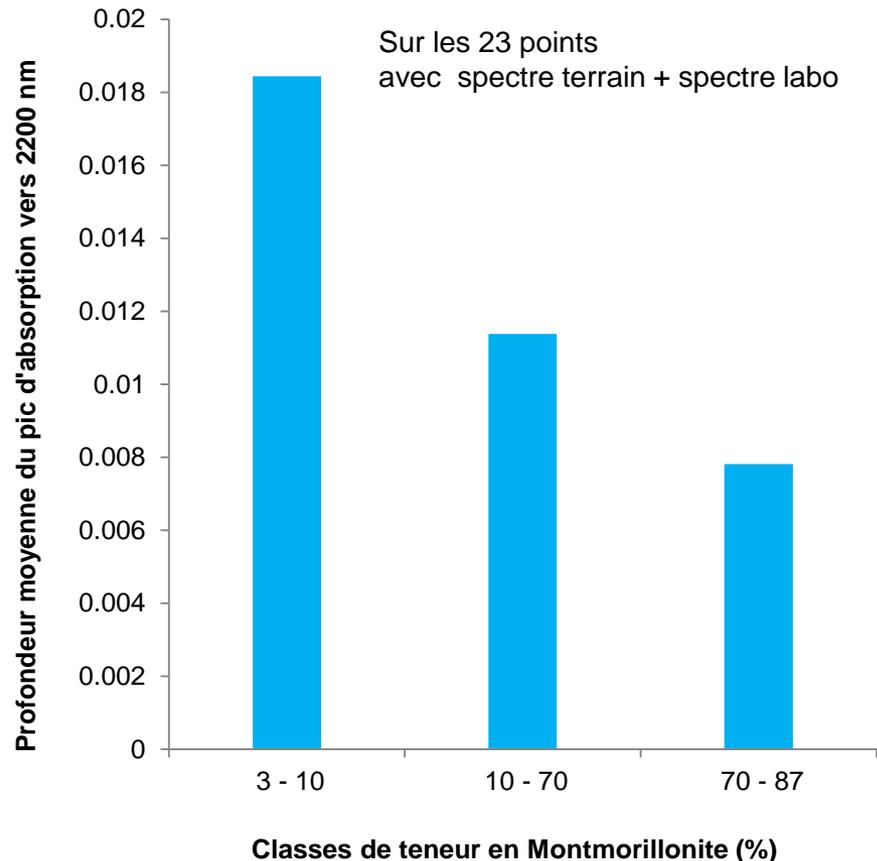
Choix d'une méthode moins conventionnelle



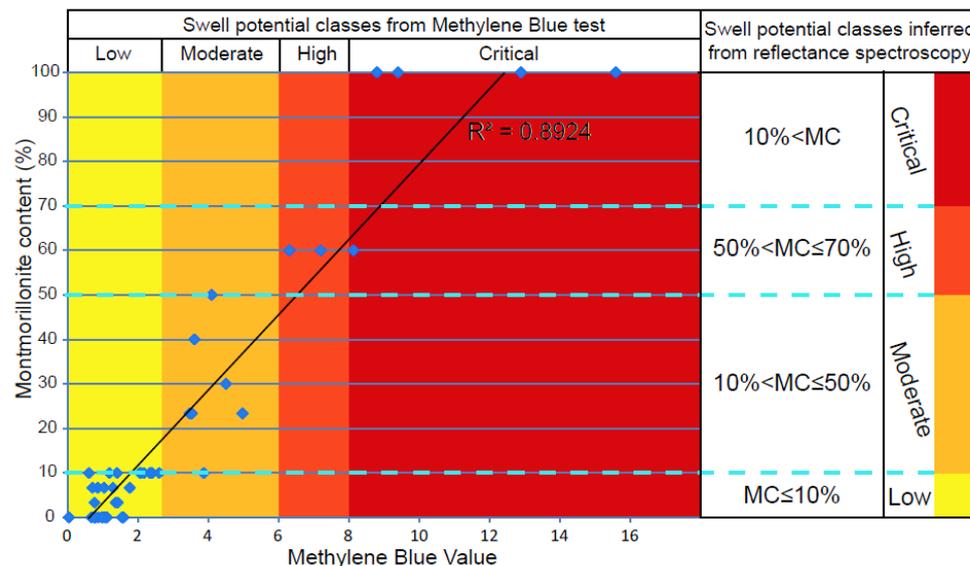
ne Terre durable

Calibration du modèle sur les données de spectroscopie labo et terrain

- Profondeur du pic
Selon 3 classes de
potentiel de gonflement



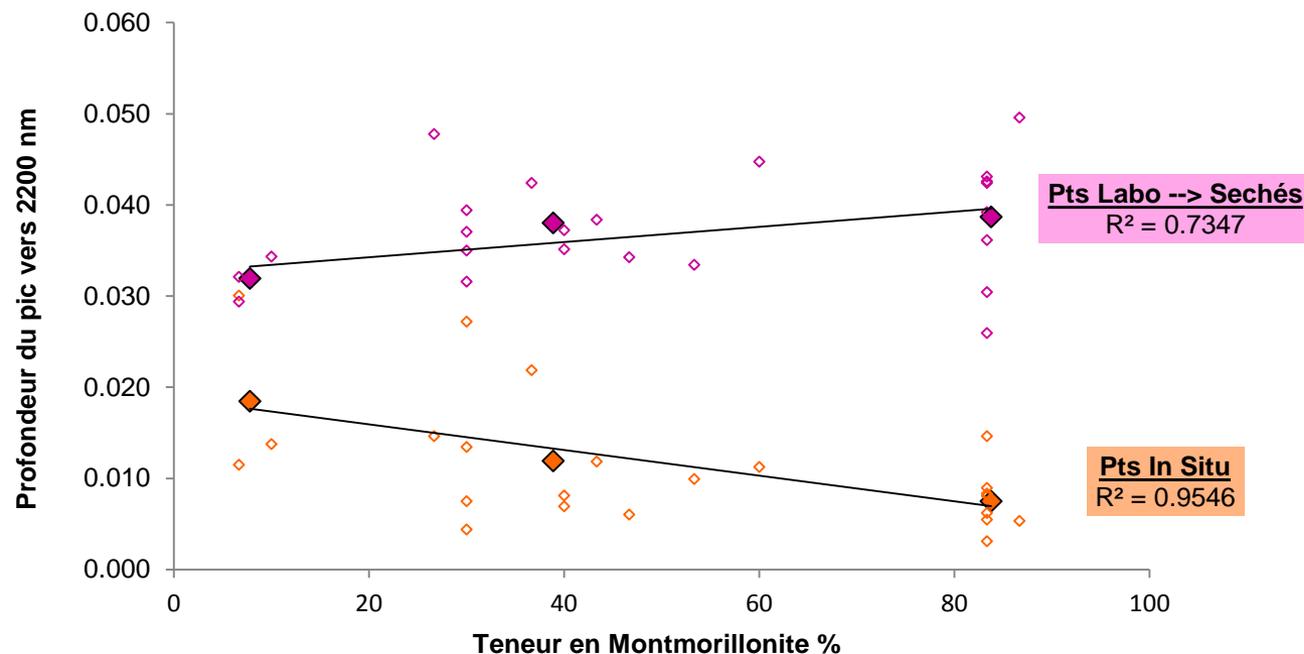
Caractérisation minéralogique obtenue à partir de l'outil MATLAB sur les spectres des échantillons de sols



> Analyse des données de spectroscopie

- ↓ profondeur du pic avec ↑ teneur en argile → rôle d'un paramètre exogène (Schneider et al, 2009)

Calibration du modèle : Profondeur du pic



Evolution des profondeur de pic d'absorption vers 2200 nm des points terrain et des points labo selon les moyennes de teneurs en montmorillonite par classe de potentiel de RGA.

- > **La mesure de terrain tend généralement à réduire la profondeur des figures d'absorption**
- > **Influence de l'humidité sur la profondeur des pics**

Calibration du modèle

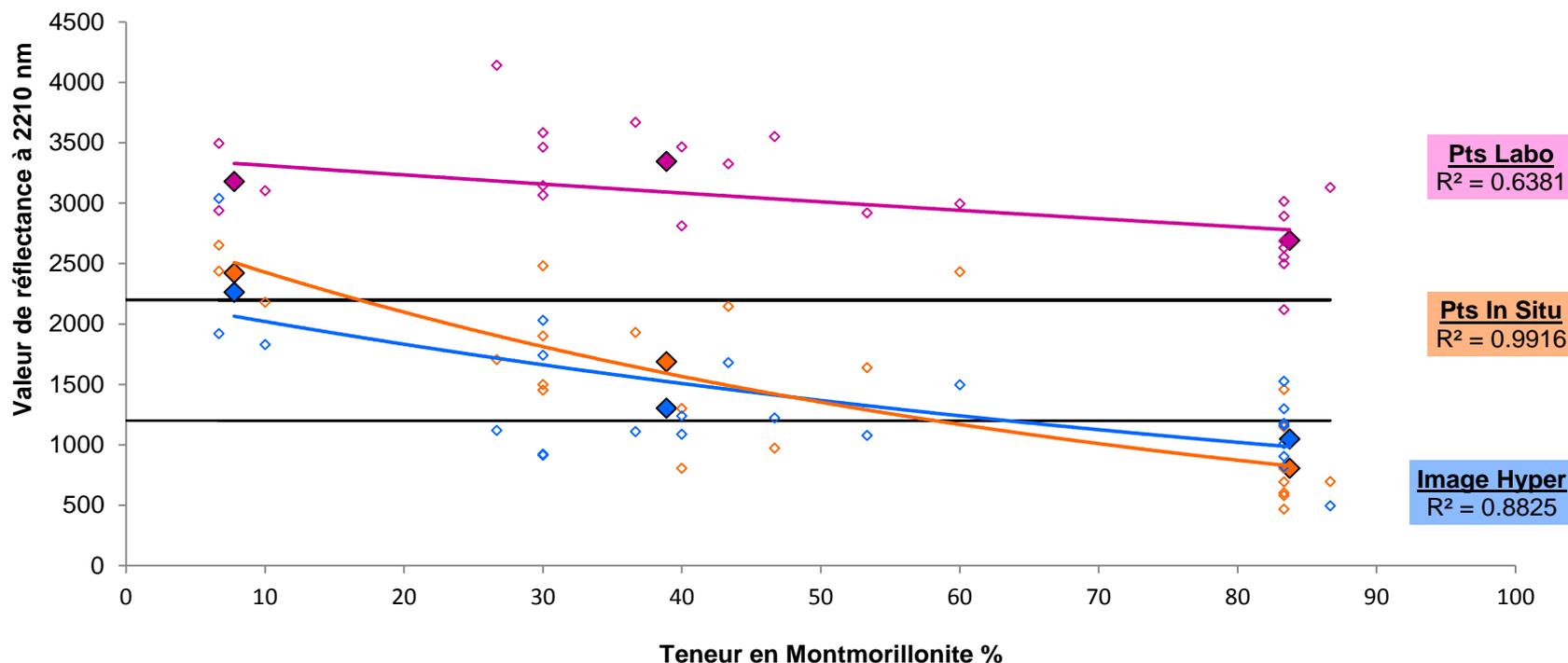
Passage d'échelle labo - terrain - image

> **Images : pas de pic d'absorption vers 2200 nm**

> **Analyse des niveaux de réflectance**

- Valeurs de réflectance à 2210 nm
 - Sur points terrain → librairie spectrale in situ
 - Sur points labo → librairie spectrale labo
 - Sur image
 - Localisation du points terrain
 - Profil spectral du pixel
 - Profil moyenné par une grille de pixels voisins

Calibration du modèle : Niveaux de réflectance



> Relation exponentielle

- Lobell et al, 2002 → entre valeur de réflectance et teneur en eau
- Hypothèse forte corrélation entre teneur en eau / teneur en argile → logique de retrouver une relation un peu similaire avec la teneur en montmorillonite

> Pts terrain / image : ordres de grandeur similaires

> Valeur de réflectance plus élevée sur pts labo

Calibration du modèle : Niveaux de réflectance

- > ↑ valeur de réflectance avec une ↓ humidité
- > ↑ valeur de réflectance avec ↓ teneur en montmorillonite
- > Confirmation de l'hypothèse d'évolution de la teneur en argile avec l'humidité
- > Seuils de classes de réflectance

Classes de teneurs en montmorillonite	Classes de valeurs de réflectance à 2210 nm
MC < 10%	Valeurs de réflectance > 2200
10% < MC < 70%	1200 < Valeurs de réflectance < 2200
MC > 70%	Valeurs de réflectance < 1200



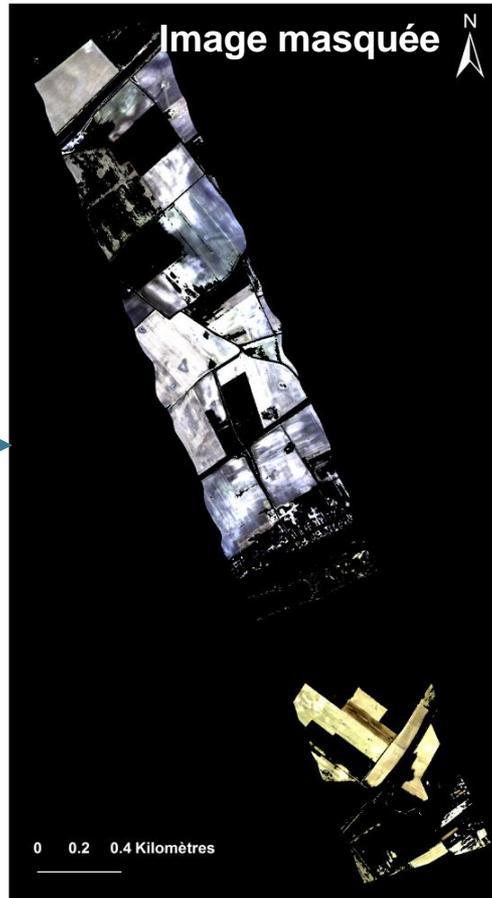
Attribution des classes sur toutes les images



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Classification en 3 classes



Masque BD TOPO
Masque végétation NDVI

3 classes de
valeurs de
réflectance

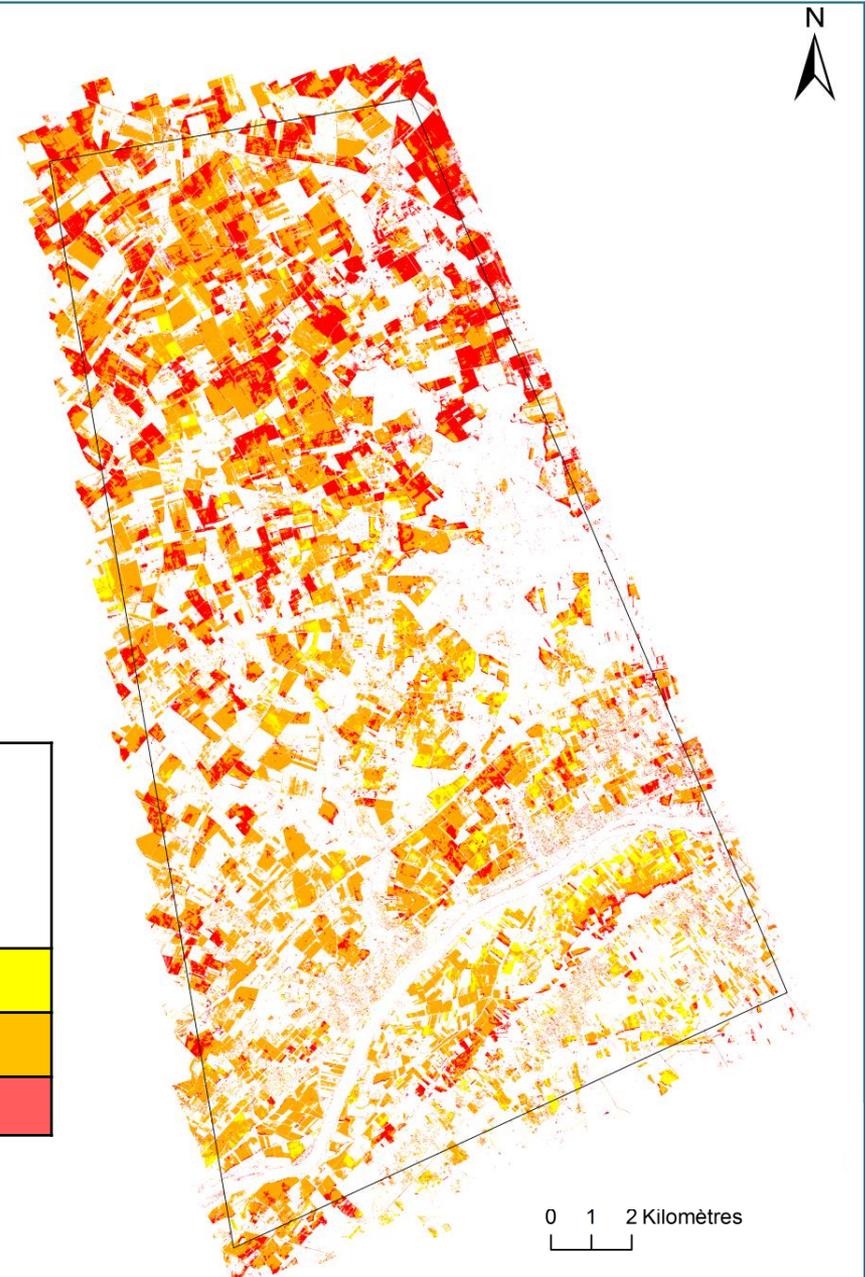


Géosciences pour une Terre durable

brgm

Classification en 3 classes de potentiel de gonflement

Teneur en montmorillonite	Valeurs de réflectance à 2210 nm
MC < 10%	Valeurs de réflectance > 2200
10% < MC < 70%	1200 < Valeurs de réflectance < 2200
MC > 70%	Valeurs de réflectance < 1200



Validation

> Validation sur 94 points

- Distribution des points dans les 3 classes de potentiel de gonflement
- Test statistique de Student → les 3 classes sont significativement différentes

> Limites:

- Nombre de données utilisées pour la calibration insuffisant
- Incertitudes sur l'estimation des teneurs en montmorillonite → validations avec les essais laboratoires sur les échantillons (Projet AREGON)

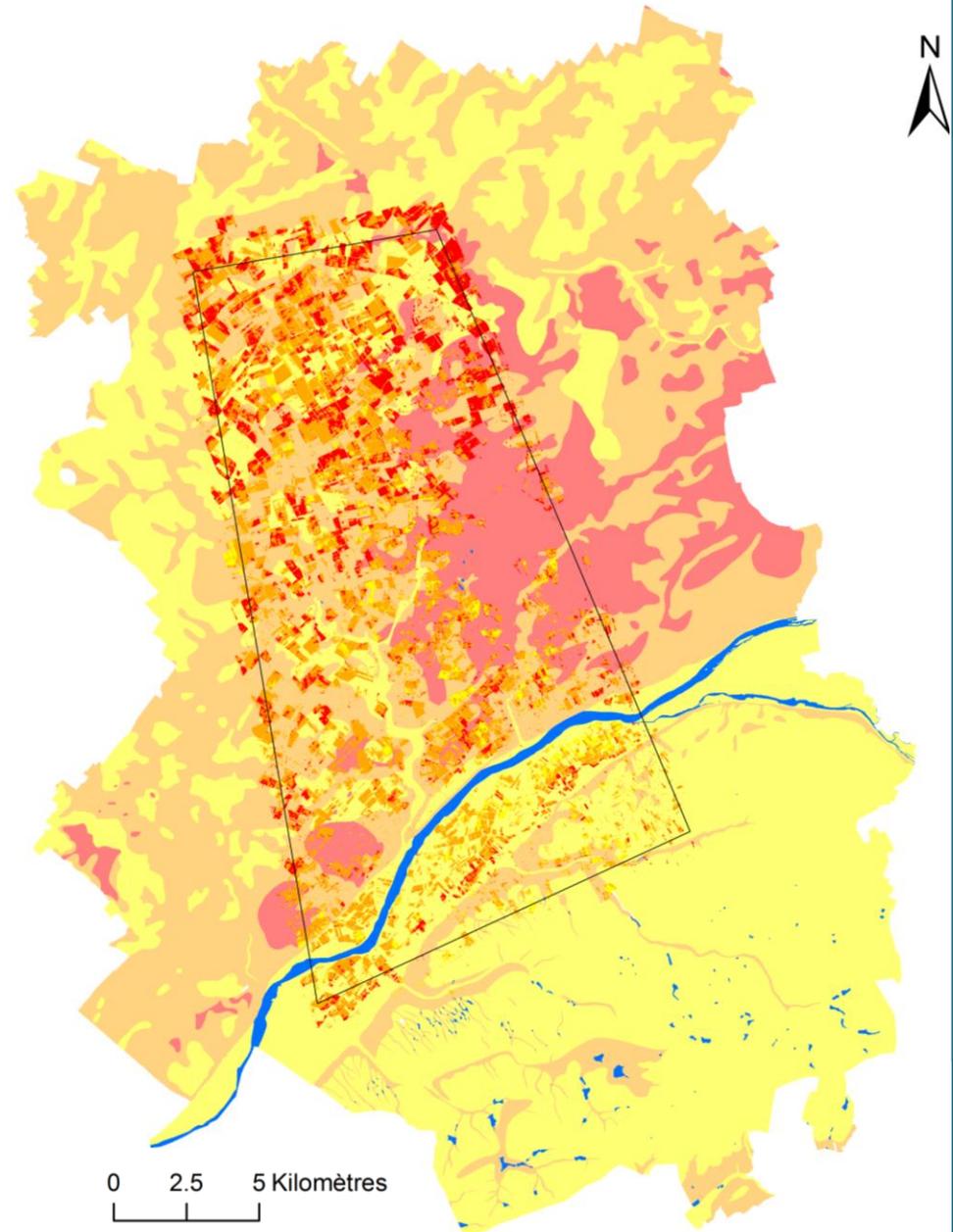
> Validation sur données géotechniques

- Nombre de données (essais labo) insuffisant dans la BD GEOTEC
- Les quelques points de mesure → « no data » pour le raster
- Teneur en eau selon classe de réflectance:
 - Une « tendance » apparaît
 - Mais trop peu de données pour confirmer

Validation

> Validation à partir des cartes 1/50000

- Comparaison difficile → Effets d'échelle, Effets de classes



Conclusion et perspectives

- > Exploitation complexe de l'imagerie hyperspectrale en milieu tempéré
- > Importance de combiner les mesures spectrales terrain-labo-image avec des données complémentaires (géotechniques : essais labo, analyse minéralo, ..., MNT, Radar, mesures humidité) pour avoir une bonne vérité terrain
- > **Perspectives**
 - > Humidité → travailler sur des modèles d'estimation de l'humidité
 - > Tester d'autres corrections atmosphériques sur les images hyperspectrales en luminance fournies par le prestataire
 - > Tester la dégradation spectrale
 - > Continuer à alimenter le site d'étude par des données de différentes natures permettant une localisation et quantification des zones riches en argiles de type gonflant → Observatoire des Minéraux Argileux du Loiret (OMAL)

Merci de votre attention