La spectroscopie pour caractériser les propriétés chimiques du sol

Lauric Cécillon
Irstea, Département Territoires, lauric.cecillon@irstea.fr

Cécile Gomez, Alexia Gobrecht, Emmanuelle Vaudour, Bernard Barthès

Séminaire de la chaire AgroTIC | Bordeaux, 5 décembre 2017

Plan de la présentation

1 Contexte

2 Principes de la spectroscopie infrarouge

3 Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.1. Au laboratoire

3.2. Sur le terrain

3.3. Par télédétection

1 Eléments de contexte

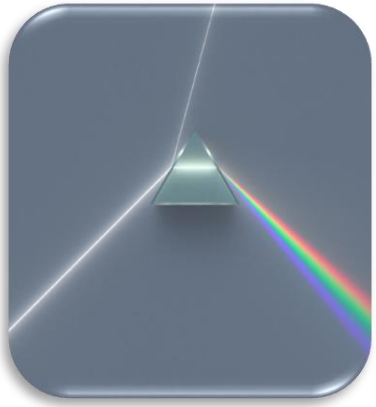
Chaque année, des centaines de milliers de sols analysés en France

→ *Gestion durable des sols* ☺
→ *Réglementation en évolution* ☺
→ *Techniques d'analyses classiques assez peu performantes* ☹

Peut-on imaginer des techniques d'analyse des sols

→ *Plus performantes ?* ☺
→ *Rendant compte de l'hétérogénéité spatiale et temporelle des propriétés des sols ?* ☺

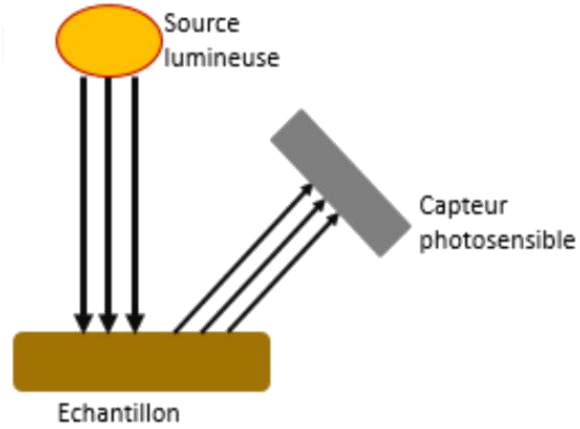
La spectroscopie visible/infrarouge peut-elle relever ce défi ?

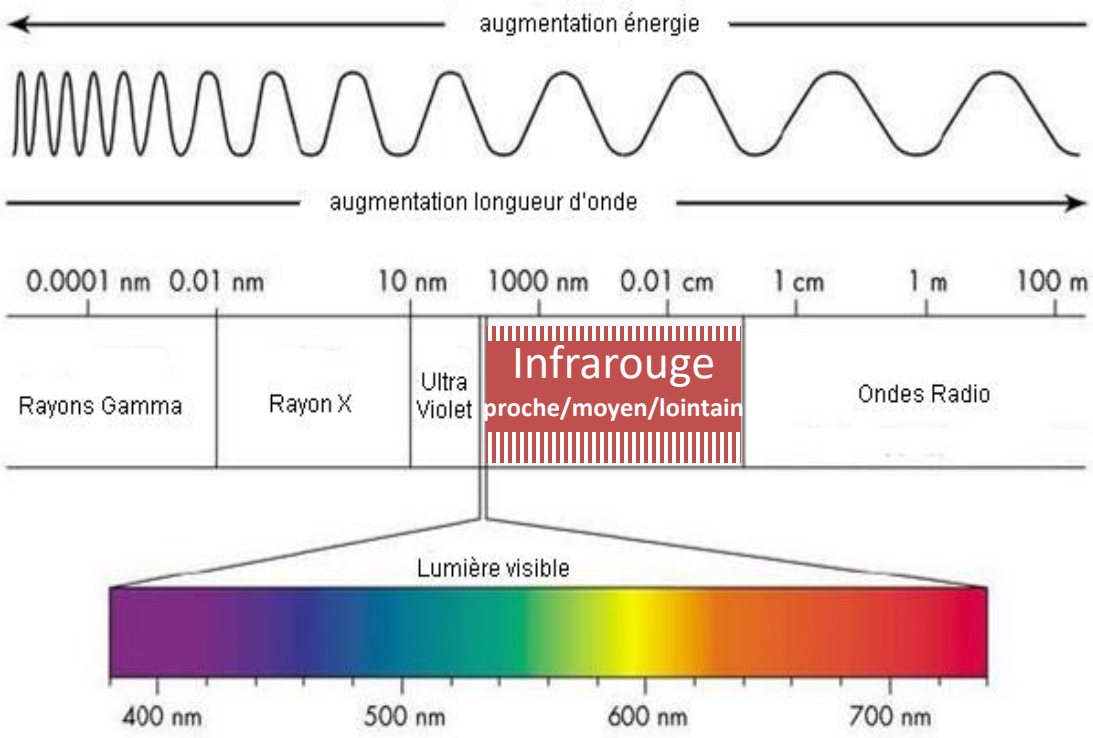






2 Principes de la spectroscopie infrarouge

La lumière infrarouge réfléchie
par un matériau contient de l'information
sur ce matériau *(d'après la loi de Beer-Lambert)*

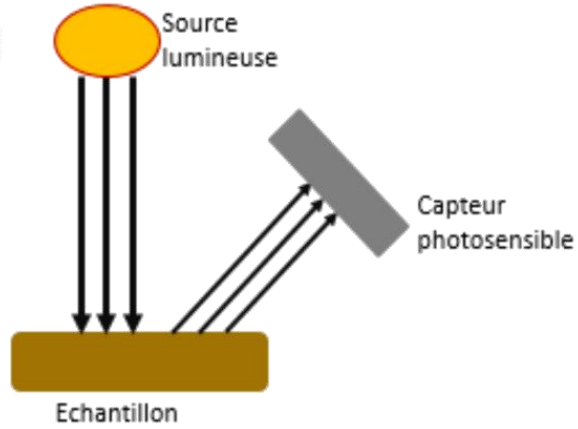


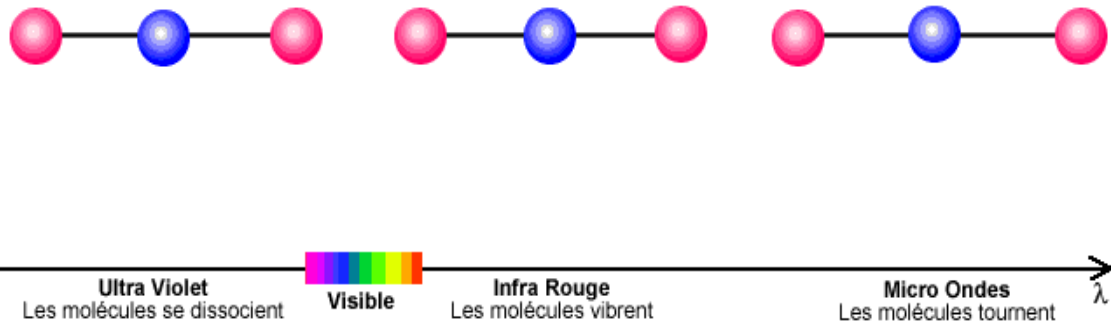


Notation :
Longueur d'onde λ
Nombre d'onde σ
$\sigma = 1 / \lambda$

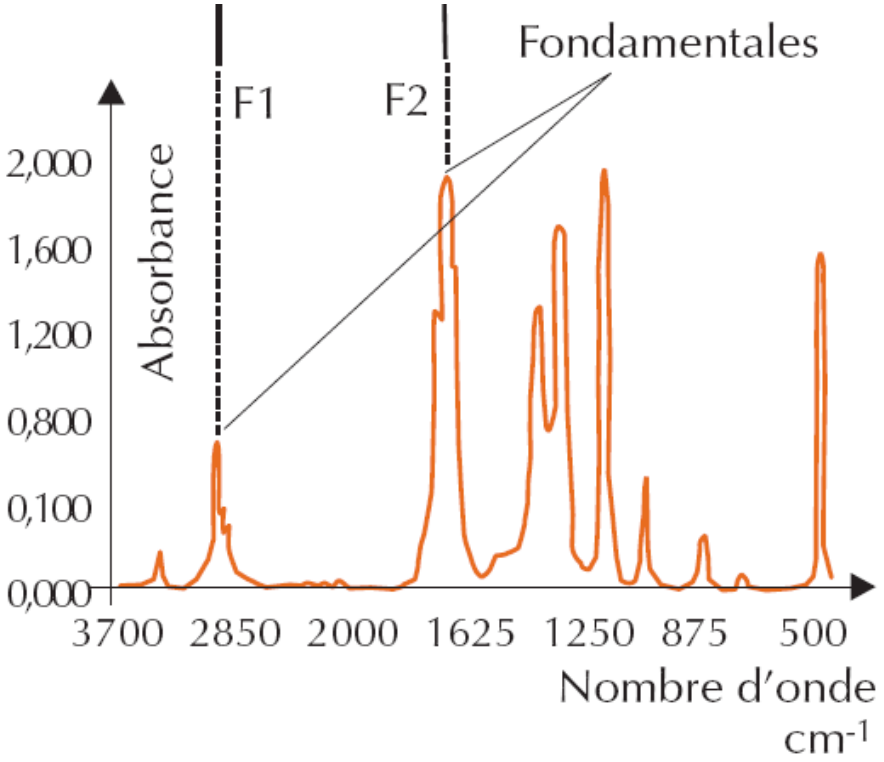
2 Principes de la spectroscopie infrarouge

La lumière infrarouge réfléchie
par un matériau contient de l'information
sur ce matériau *(d'après la loi de Beer-Lambert)*





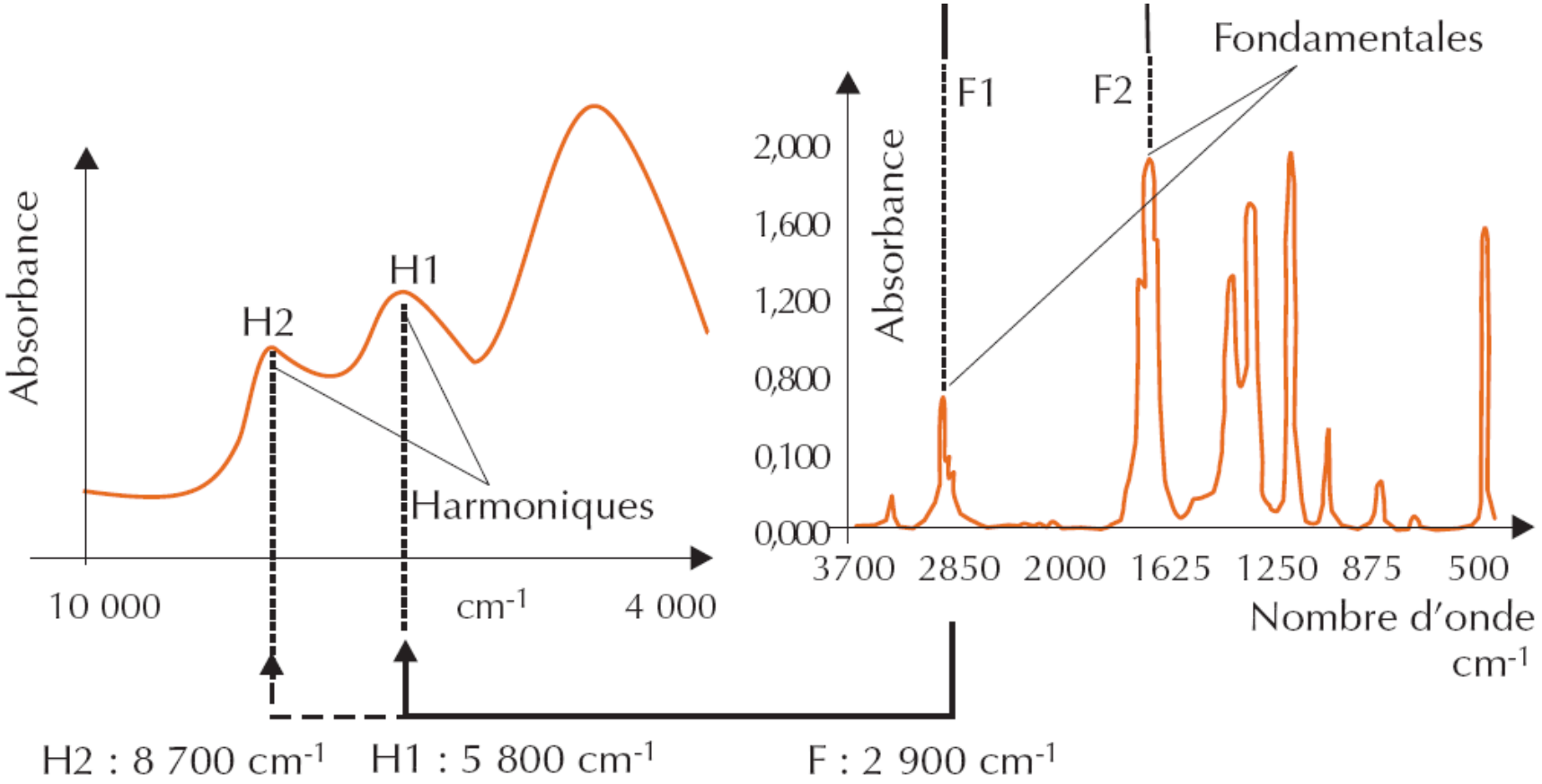
2 Principes de la spectroscopie infrarouge



Spectre moyen infrarouge (MIRS)

Bellon-Maurel et al., 2003

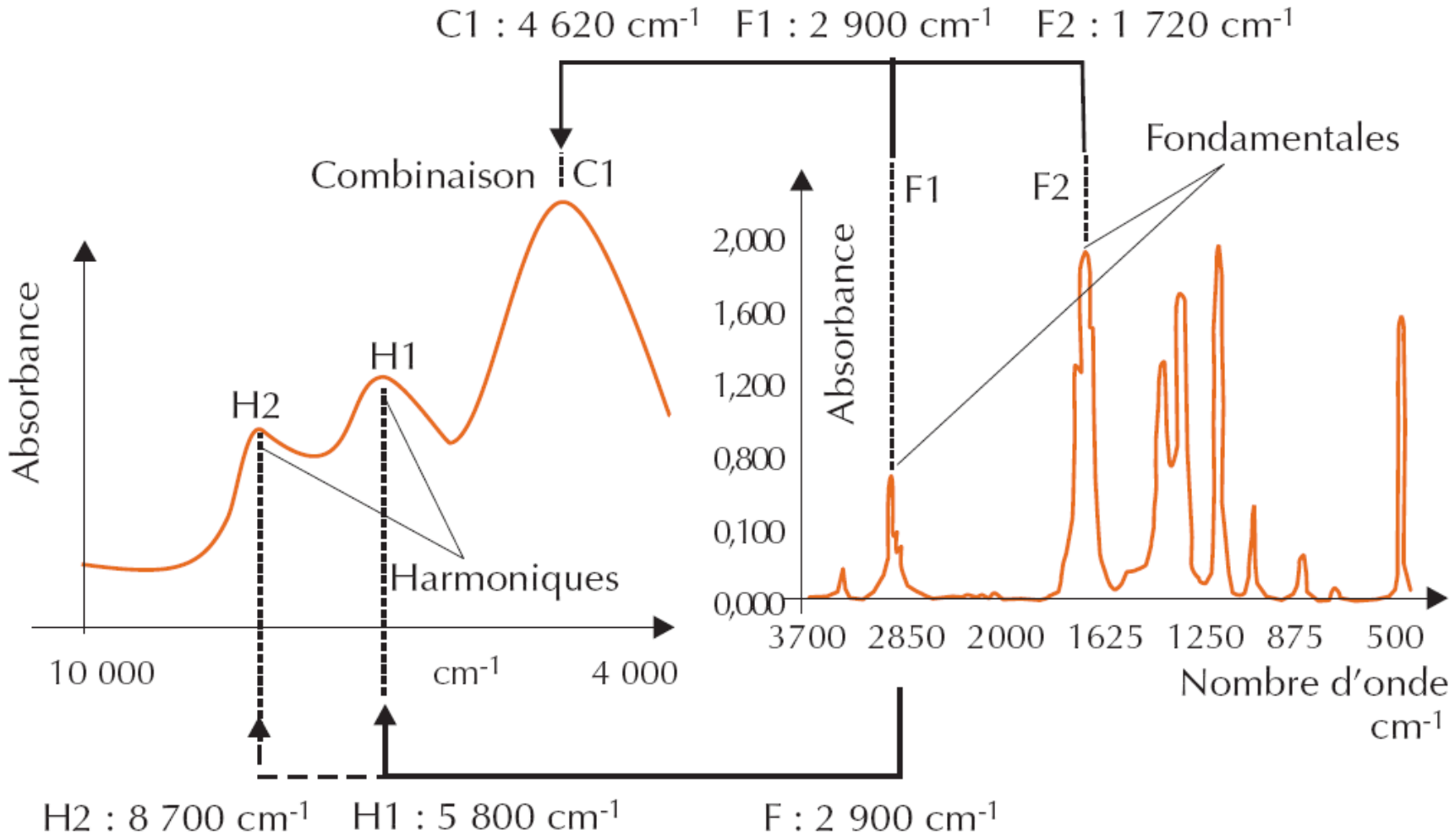
2 Principes de la spectroscopie infrarouge



Spectre proche infrarouge (NIRS) **Spectre moyen infrarouge (MIRS)**

Bellon-Maurel et al., 2003

2 Principes de la spectroscopie infrarouge



Spectre proche infrarouge (NIRS) **Spectre moyen infrarouge (MIRS)**

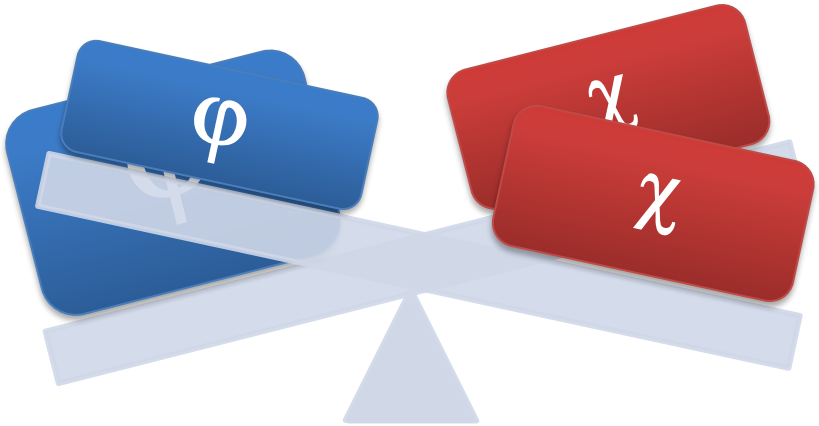
Bellon-Maurel et al., 2003

2 Principes de la spectroscopie infrarouge

La mesure spectrale des sols



- Le sol est un milieu
  OPAQUE et DIFFUSANT
- Le signal infrarouge pénètre le sol sur quelques µm (MIRS) voire quelques mm (NIRS)
- 90 % du signal mesuré
  → structure physique (+ eau)



→ Préparation des échantillons

→ Algorithmes pour maximiser l'information chimique

2 Principes de la spectroscopie infrarouge… et de la chimiométrie

→ Modèles de régression multivariée

$$Y = XB + \mathcal{E}$$

Variable d'intérêt (pédologique)

Matrice spectrale (infrarouge)

→ Modèles d'étalonnage sur des bases d'échantillons de sol

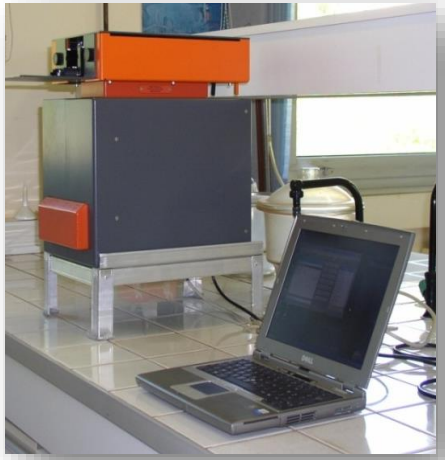
Conditions : 1/ Y a une spécificité chimique en spectroscopie infrarouge, ou Y est corrélée à une propriété du sol ayant une spécificité spectroscopique
2/ Y est suffisamment variable dans la base d'échantillons de sol

→ On pourra prédire ces variables sur des échantillons de sol inconnus

Ben-Dor et al., 2002; Gomez et al., 2012

3 Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.1. Mesures au laboratoire : spectromètres classiques







Photos : B. Barthès; L. Cécillon

3 Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

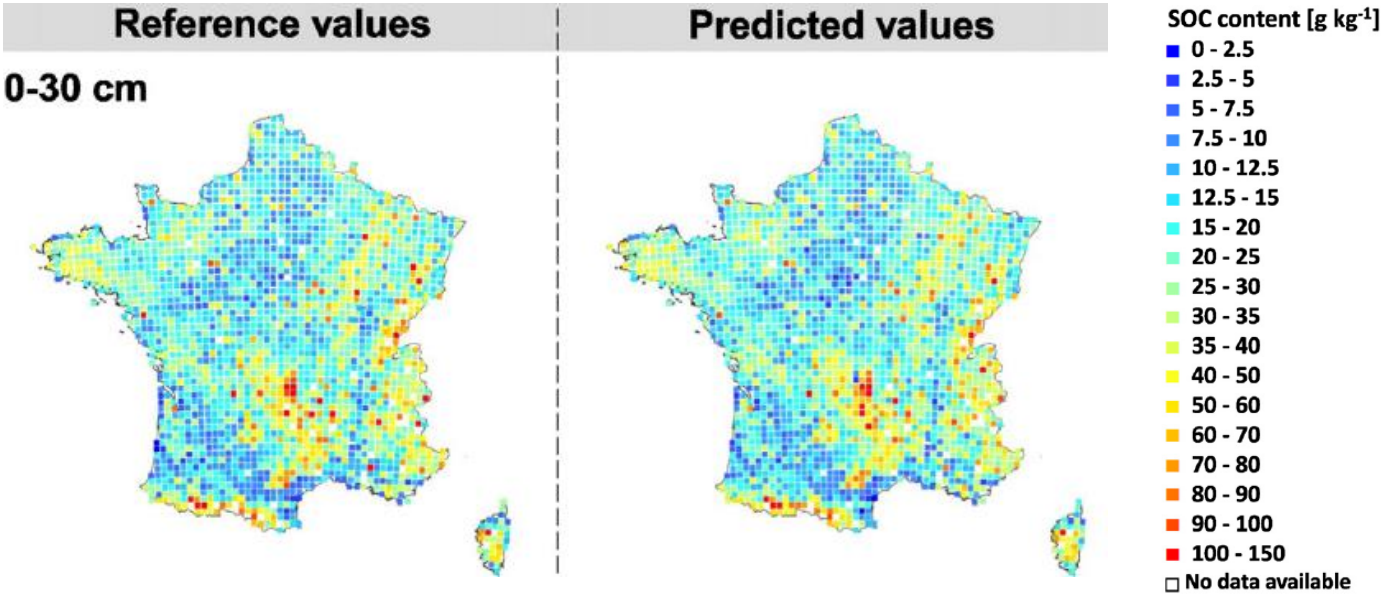
3.1. Mesures au laboratoire : étalonnage national carbone organique

- 2200 échantillons 0-30 cm sur toute la France (GIS Sol RMQS, grille 16 km)
- Spectres MIRS acquis sur sol sec broyé à 0.2 mm

Qualité des prédictions

$R^2_{validation}$ > 0.90

erreur de prédiction = 4.7 g.kg^{-1}; voire 2.0 g.kg^{-1} pour les sols les plus communs

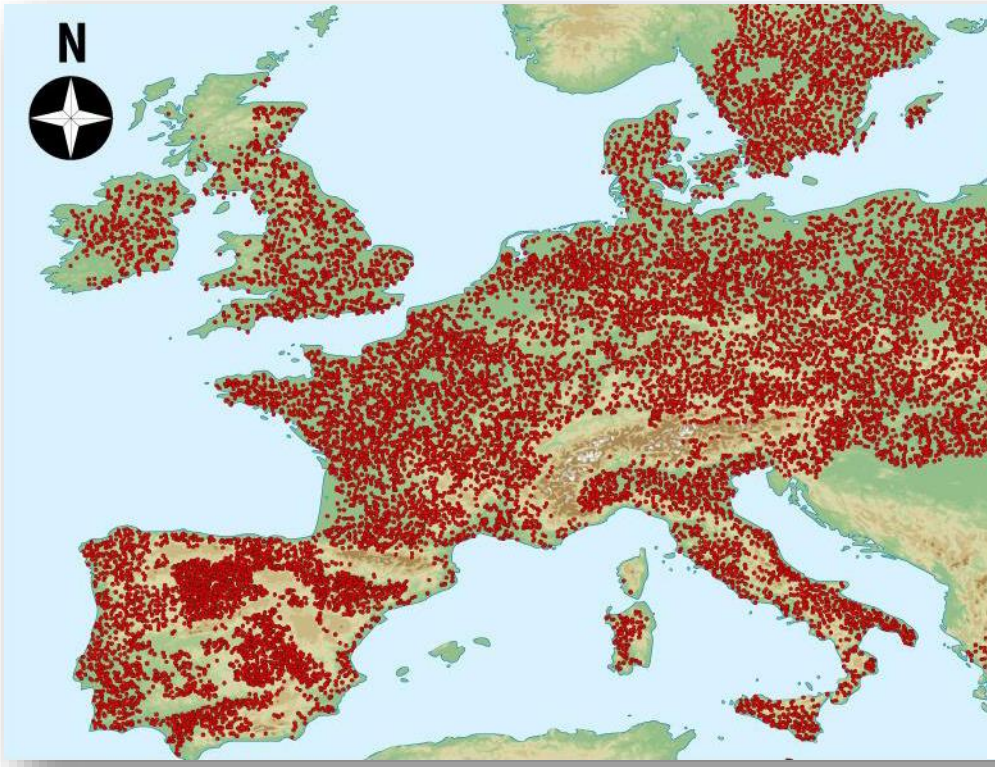


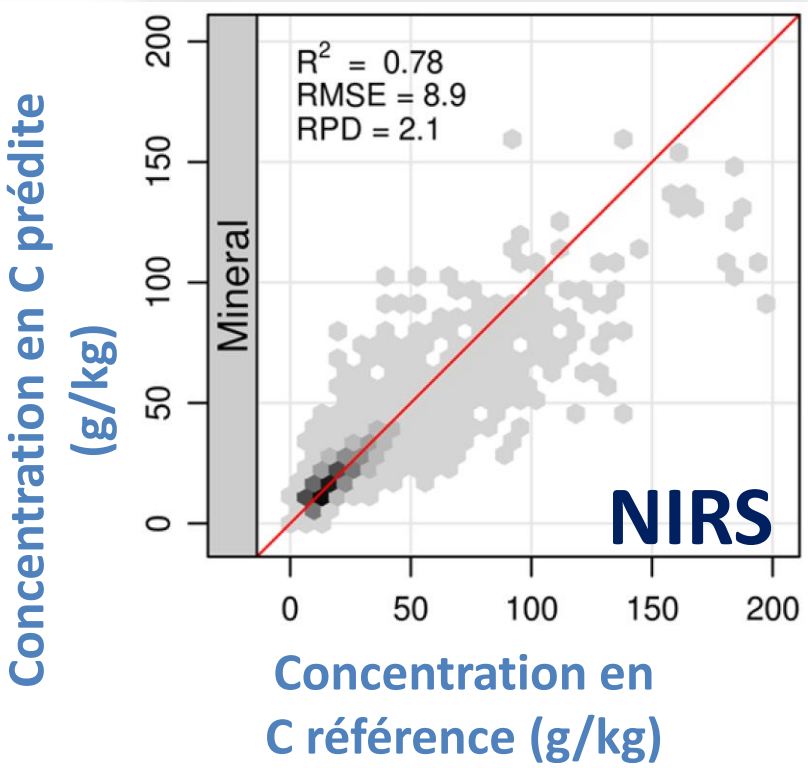
Norme
NF EN ISO 17184
Juillet 2014

Clairotte et al., 2016

❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.1. Mesures au laboratoire : étalonnage européen carbone organique



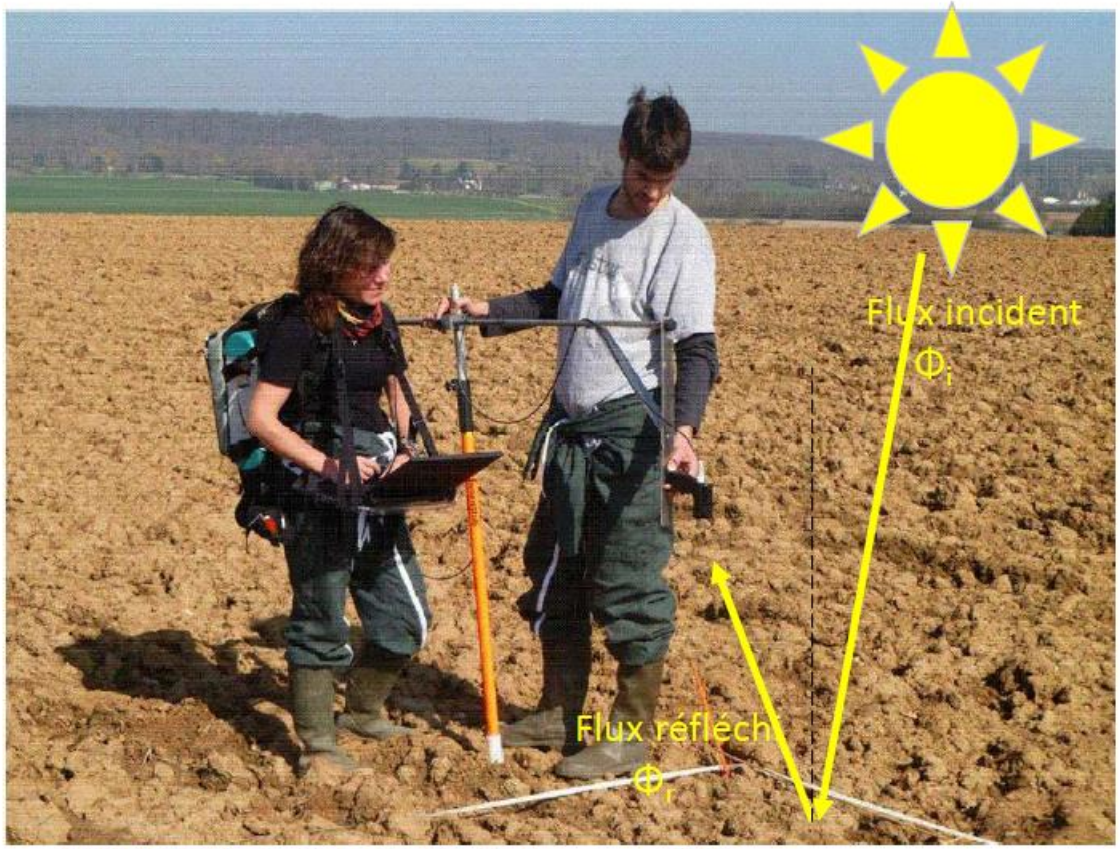


Prédiction correcte de la concentration en carbone organique des sols
→ incertitude ≈ 5 fois celle de la méthode de référence par combustion sèche…

LUCAS Soil, JRC ; Carte P. Meunier ; Stevens et al., 2013

❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.2. Mesures sur le terrain, source de lumière naturelle



©UMR EGC-Equipe Sol, cliché E. Vaudour, mars 2012

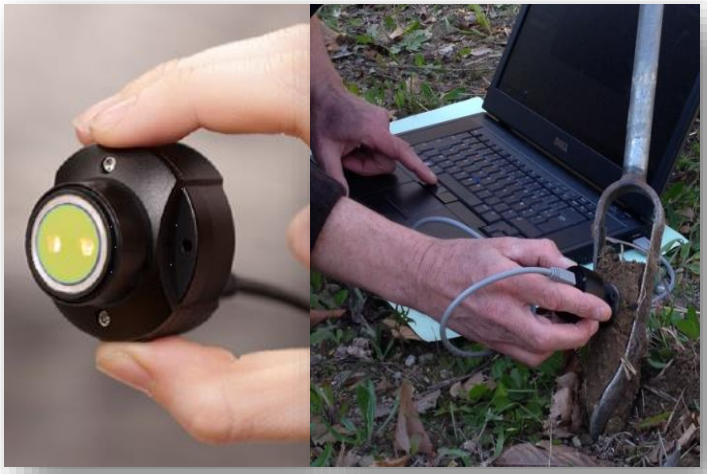
$$R_\lambda = \frac{\Phi_{r\,\lambda}}{\Phi_{i\,\lambda}}$$

❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.2. Mesures sur le terrain, source de lumière artificielle contrôlée









3 Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.2. Mesures sur le terrain, source de lumière artificielle contrôlée

→ **Exemple d'étalonnage sur 1000 échantillons pour 6 paramètres chimiques des sols**
(0-20 cm, sols de grandes cultures françaises)



Paramètres chimiques du sol (concentrations en g/kg)

	Matière organique	N	Argile	$CaCO_3$	P_{assim}	$K_{éch}$
R^2_{val}	0.84	0.80	0.87	0.96	0.50	0.77

→ **Offre commerciale en 2018**

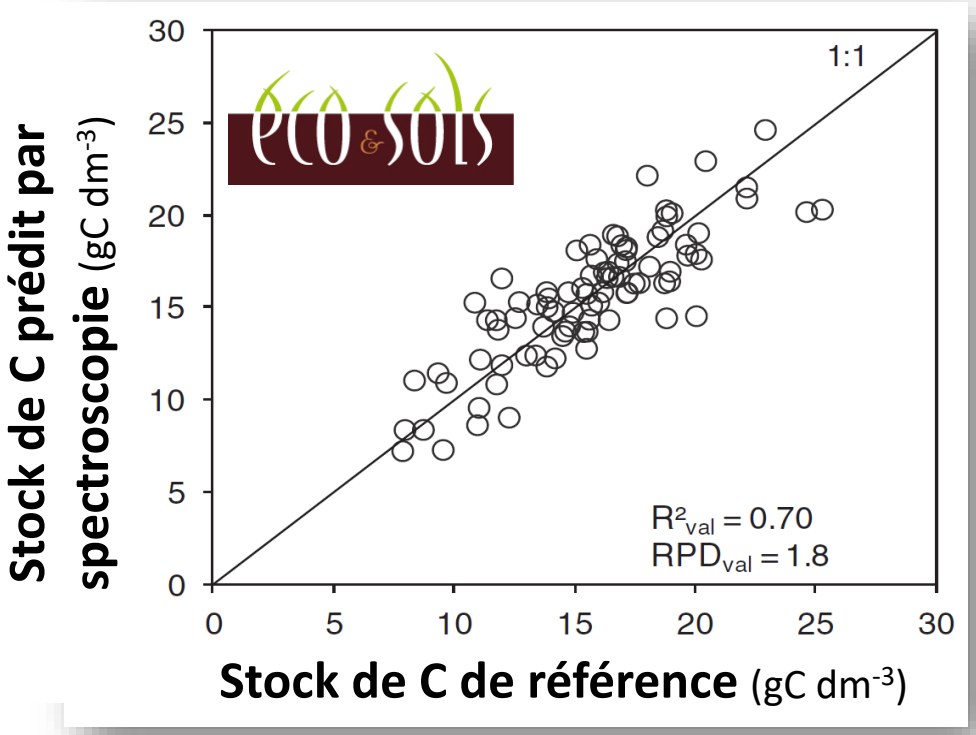
Gras et al., 2014
Trupin et al., communication COMIFER-GEMAS

3 Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.2. Mesures sur le terrain, source de lumière artificielle contrôlée

Stock de carbone organique





Mesure des stocks de carbone des sols agricoles sur le terrain

Cambou et al., 2016

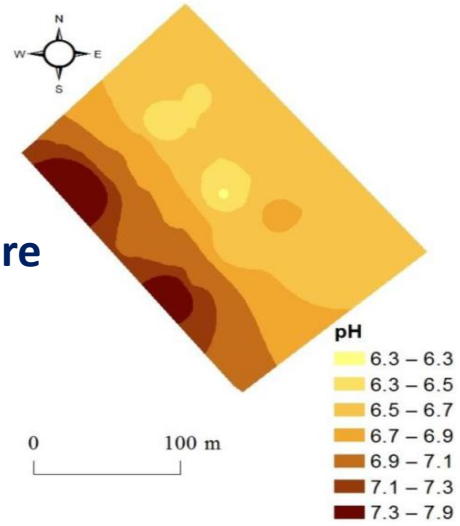
❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

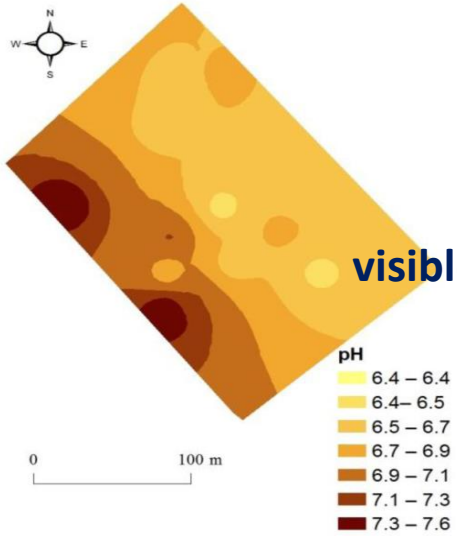
3.2. Mesures sur le terrain, source de lumière artificielle contrôlée

Suivi in situ du pH du sol par spectrométrie embarquée



Mesures de références au laboratoire





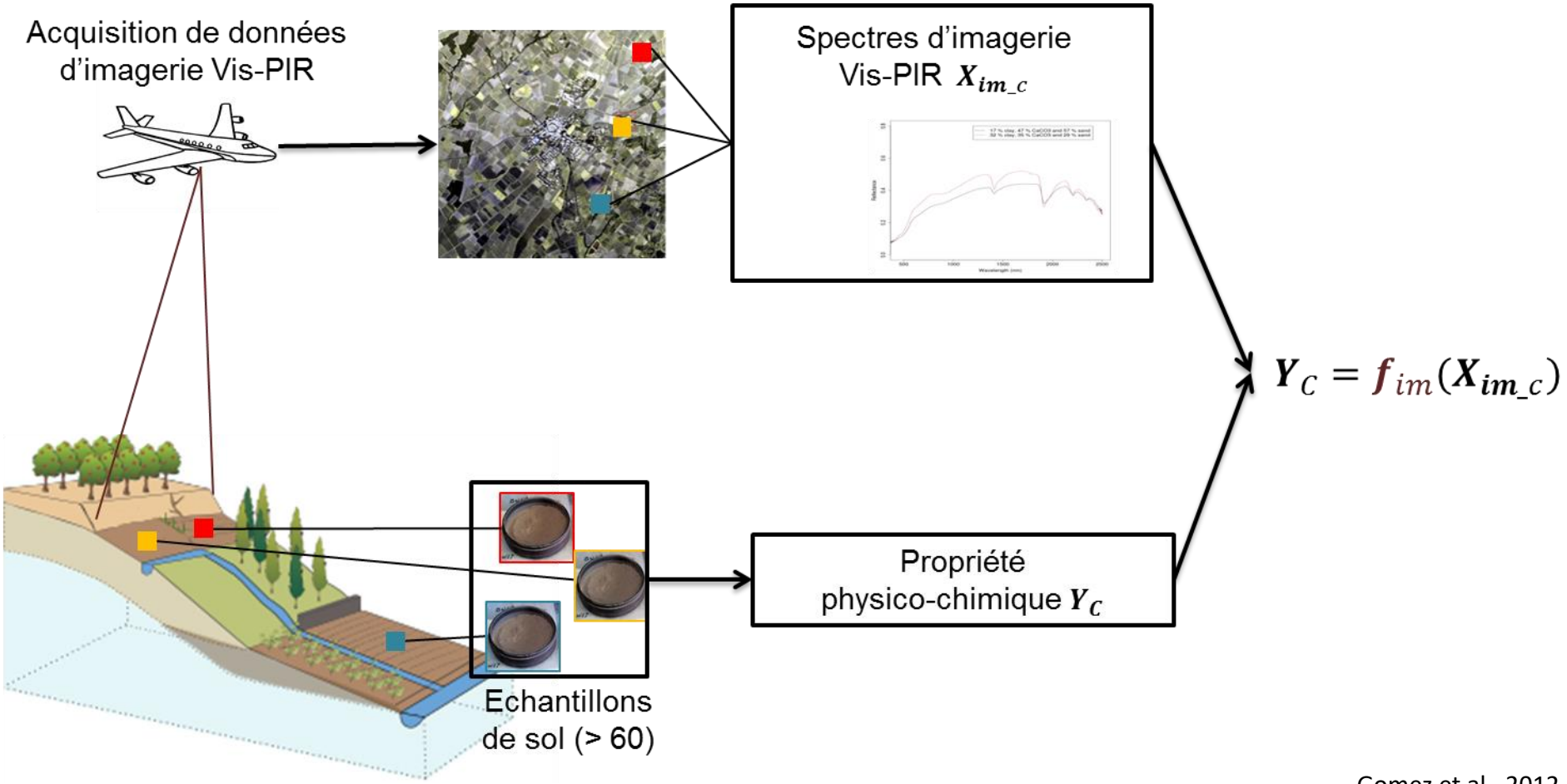
Mesures par spectrométrie visible et infrarouge embarquée

Tekin et al., 2013

❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

3.3. Télédétection : spatialisation de propriétés de sols de surface

→ Imagerie multispectrale ou hyperspectrale



Gomez et al., 2012

❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

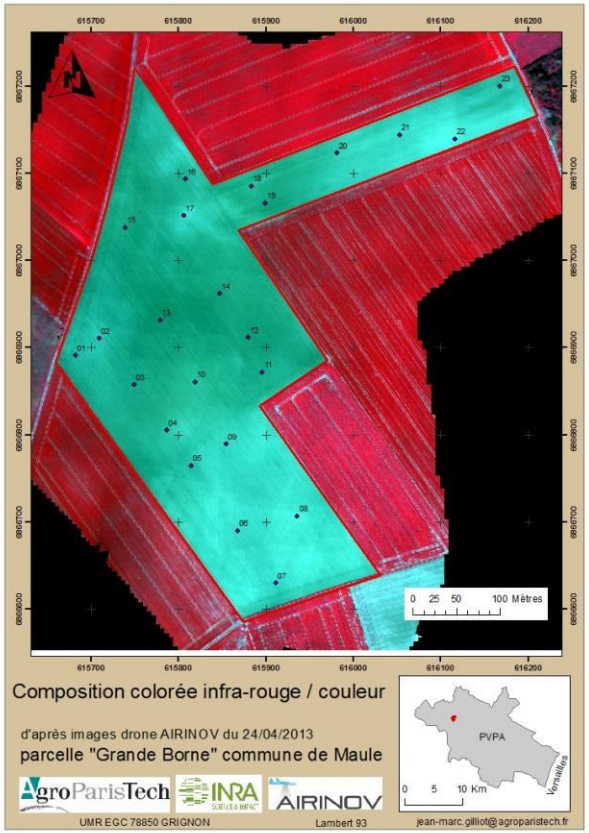
3.3. Télédétection : spatialisation de propriétés de sols de surface

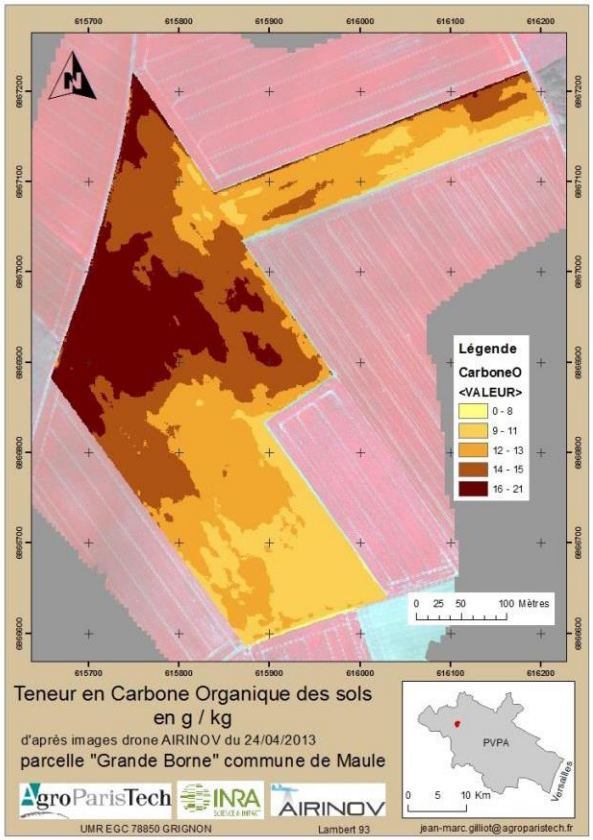
→ Imagerie multispectrale (4 canaux) 400-800 nm

→ Prédiction du carbone organique du sol









AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

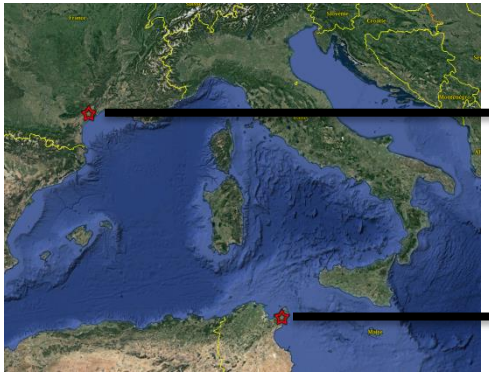
Gilliot et al., 2014

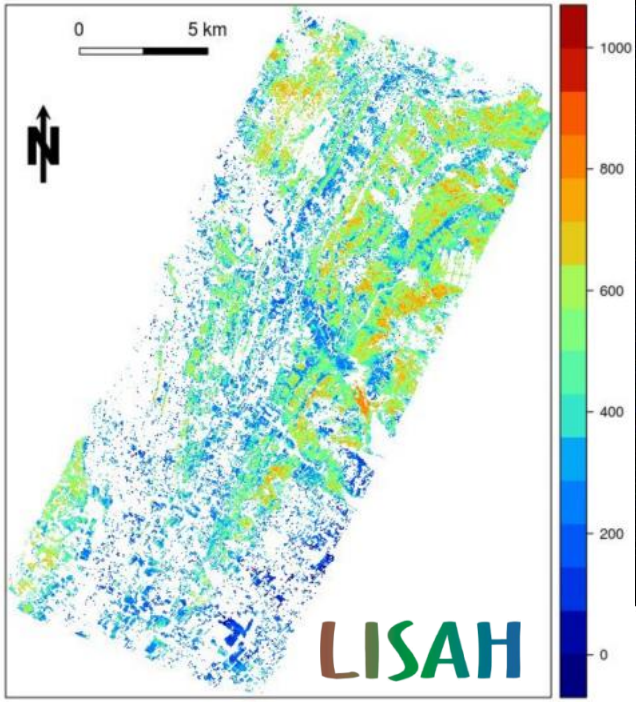
❸ Applications « sols » de la spectroscopie infrarouge

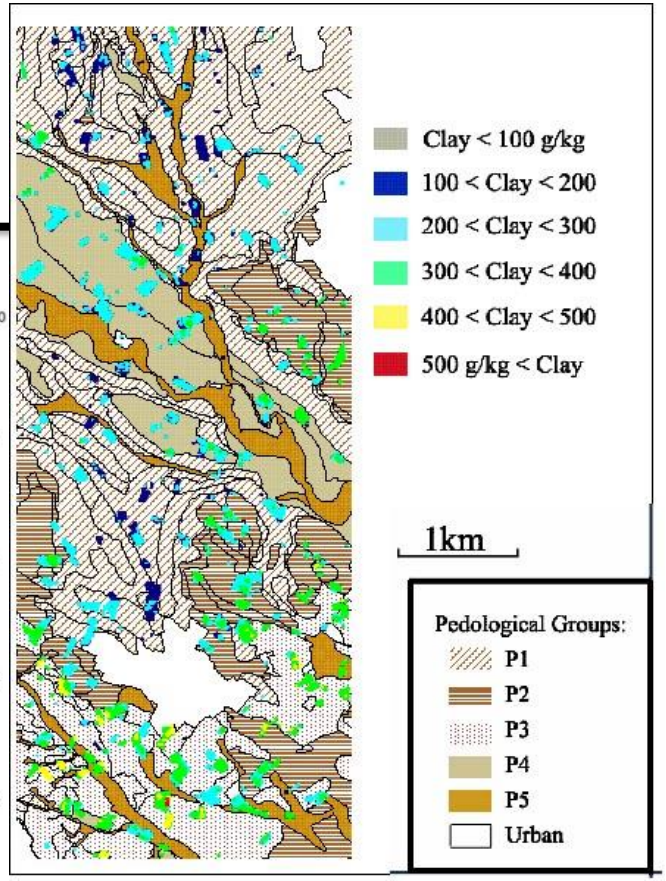
3.3. Télédétection : spatialisation de propriétés de sols de surface

→ Imagerie hyperspectrale 400-2500 nm

→ Prédiction du taux d'argile du sol







Verrous techniques

Sol profond ?

Concentration *vs.* stock ?

Sols végétalisés ?

Gomez et al., 2012

La spectroscopie pour caractériser les propriétés chimiques du sol

Lauric Cécillon
Irstea, Département Territoires, lauric.cecillon@irstea.fr

Cécile Gomez, Alexia Gobrecht, Emmanuelle Vaudour, Bernard Barthès

Séminaire de la chaire AgroTIC | Bordeaux, 5 décembre 2017