La spectroscopie infrarouge à l'IRD (Institut de recherche pour le développement)

Bernard Barthès¹, Cécile Gomez² & Pascal Jouquet³

- ¹ UMR Eco&Sols (Ecologie fonctionnelle & biogéochimie des sols & des agro-systèmes) Montpellier
- ² UMR Lisah (Laboratoire d'Etude des Interactions entre Sol-Agrosystème-Hydrosystème) Montpellier & Bangalore (Inde)

³ UMR IEES Paris (Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris) Bondy Institut de Recherche pour le Développement F R A N C E



- Établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) sous tutelle des ministères de la recherche et des affaires étrangères
- Travaille dans ~50 pays du Sud
- 2050 agents dont 30% hors Métropole
- Largement pluridisciplinaire
- Cinq départements scientifiques
 - Physico-chimie des milieux continentaux
 - Écosystèmes continentaux
 - Océans (physico-chimie et bio-écologie, pêche)
 - Santé
 - Sociétés



Publications "infrarouge" à l'IRD



Publications "infrarouge" à l'IRD





Majorité des applications sur sols

spécificité des sols : composition variable de la phase minérale (95% du sol en général)

Quels échantillons ?

• Au laboratoire, sur sol séché à l'air tamisé < 2 mm voire broyé < 0.2 mm





Quels échantillons ?

• Au laboratoire, sur sol séché à l'air tamisé < 2 mm voire broyé < 0.2 mm



• Sur le terrain, différentes modalités Généralement moins précis qu'au labo du fait de l'humidité variable Nombreuses répétitions possibles : variabilité intraparcellaire Étalonnages coûteux : prélèvements et analyses spécifiques



Gras et al., 2014

- RMQS : > 2200 sites analysés à 0-30 et 30-50 cm
- Spectres VNIR, NIR, <u>MIR</u>, NIR+MIR...
- Prédictions MIRS de % Corg (LOOCV)



Clairotte et al., 2016

- RMQS : > 2200 sites analysés à 0-30 et 30-50 cm
- Spectres VNIR, NIR, <u>MIR</u>, NIR+MIR...
- Prédictions MIRS de % Corg (LOOCV)
- Prédiction MIRS du % calcaire (SIC) sur sols de vigne du Languedoc-Roussillon



Clairotte et al., 2016





8

- RMOS: > 2200 sites \mathbf{O} analysés à o-30 et 30-50 cm
- Spectres VNIR, NIR, MIR, NIR+MIR... 0
- Prédictions MIRS de % Corg (LOOCV) 0
- Prédiction MIRS du % calcaire (SIC) sur 0 sols de vigne du Languedoc-Roussillon

 $SEP = 5.2 \text{ g kg}^{-1}$

 $R_{\rm val}^2 = 0.96$

 $RPD_{val} = 3.7$

01:1

70

60

50

40

30

20

10

Global PLSR

with spiking

SEP = 3.3 g kg⁻¹

Measured SIC / g kg-1

 $R_{\rm val}^2 = 0.97$

 $RPD_{val} = 5.9$



SEP = 2.7 g kg⁻¹

60

50

30

 $R_{\rm val}^2 = 0.98$

70 80

 $RPD_{val} = 7.3$

°C2 (19%)

PC1 (49%)

-10 0

80

70

60

Predicted SIC / g kg⁻¹

Global PLSR

without spiking

2178 calibration samples

Aigues-Mortes

samples

20



Prédictions MIRS de % Corg (SOC) et % calcaire (SIC)

Calibration et validation sur France (2178 éch. 0-30 cm), **test sur Tunisie** (96 éch. 0-20 cm)

SOC et SIC en France vs. Tunisie : mêmes gammes, mais effectifs, distributions et pédoclimats différents



⇒ Bonnes prédictions pour SOC et SIC
⇒ Distribution de la variable importe plus que similarité entre spectres de calibration et de test



Gomez et al., 2020



Prédictions MIRS du % calcaire (CaCO₃, soil inorganic carbon SIC) Calibration et validation sur Tunisie (96 éch. 0-20 cm), test sur France (2178 éch. 0-30 cm)

Mêmes gammes de SIC mais effectifs, distributions et pédoclimats différents





Valeurs élevées mieux prédites par PLSR , valeurs faibles par régression linéaire simple (SLR)

- \Rightarrow couplage des deux :
 - PLSR si hauteur pic > o, SLR si hauteur pic ≤ o
- \Rightarrow bonnes prédictions sur toute la gamme

Distribution de la taille des particules organiques dans le sol





Particules organiques grossières (> 50 μm)

- peu dégradées (C/N=20-25)
- débris végétaux figurés
- labiles, turnover rapide
- substrats pour les organismes du sol



Particules organiques fines (< 20 µm)

- matières humiques décomposées (C/N=8-12)
- composés colloïdaux liés aux minéraux, de nature microbienne
- résistantes, turnover lent
- compartiment de stockage

/ /

Distribution de la taille des particules organiques dans le sol





Particules organiques grossières (> 50 μm)

- peu dégradées (C/N=20-25)
- débris végétaux figurés
- labiles, turnover rapide
- substrats pour les organismes du sol



Particules organiques fines (< 20 µm)

- matières humiques décomposées (C/N=8-12)
- composés colloïdaux liés aux minéraux, de nature microbienne
- résistantes, turnover lent
- compartiment de stockage

Procédure conventionnelle : 1. agiter sol / 2. tamiser à 200 µm / 3. ultrasoniquer / 4. tamiser / 5. prélever aliquote < 20 µm / 6. doser C sur + eau + HMP et 50µm à 20 µm chaque fraction F 20-50 F 50-200 F 50-200 F 20-50 F < 20

Distribution de la taille des particules organiques dans le sol





Particules organiques grossières (> 50 μm)

- peu dégradées (C/N=20-25)
- débris végétaux figurés
- labiles, turnover rapide
- substrats pour les organismes du sol



Particules organiques fines (< 20 µm)

- matières humiques décomposées (C/N=8-12)
- composés colloïdaux liés aux minéraux, de nature microbienne
- résistantes, turnover lent
- compartiment de stockage

158 éch. (surface) sur 3 sites sableux du Burkina Faso (N_{val}=55), <u>spectre NIR du sol total</u>



Barthès et al., 2008

Contents lists available at ScienceDirect Catena ijournal homepage: www.elsevier.com/locate/catena

Catena 81 (2010) 113-116

Bioturbation, origine des sols et érosion

Utilization of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to quantify the impact of earthworms on soil and carbon erosion in steep slope ecosystem A study case in Northern Vietnam

Pascal Jouquet ab,* , Thierry Henry-des-Tureaux a,b , Jérôme Mathieu b,c , Thuy Doan Thu a , Toan Tran Duc a , Didier Orange a,b





Fig. 2. Results of the principal components analysis showing the eigenvalue diagram (upleft) and the evolution of the absorbance in the NIR according to the concentration in cast aggregates (0, 25, 50, 75 and 100% of casts) and that of sediments collected at the outlet of the 1-m². Samples were collected in *Paspalum atratum* (A) and *Panicum maximum* (B).



Fig. 3. Scatter plots of predicted vs. actual values for the percentage of cast weight in soil samples. Abbreviation: Q², cross-validated R²; RMSECV, root mean squared error of cross-validation. (A) In *Paspalum atratum*. (B) In *Panicum maximum*.

Mélanges-étalons sol+turricules 0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0 \Rightarrow comparaison avec spectres des sédiments (ACP) \Rightarrow étalonnage PLSR

77% de turricules dans les sédiments



To what extent do ageing and soil properties influence *Amynthas khami* cast properties? Evidence from a small watershed in northern Vietnam

N. Bottinelli^{a,b,*}, J.L. Maeght^{a,b,c}, V.N. Tran Le^b, C. Boonchamni^b, T.T. Doan^b, T.M. Tran^b, H. Aroui Boukbida^a, L. Smaili^a, P. Jouquet^a



Bioturbation, origine des sols et qualité de la matière organique du sol : MIRS sur sol vs. turricules récents ou anciens prélevés sur mêmes sites



Fig. 5. Relationship between mid-infrared spectra of casts (recent in black circles and degraded in grey circles) and topsoil aggregates. Fitting regression models are presented if they are statistically significant. The black line corresponds to the line y = x.

[Spearman rank correlations on Euclidian distances between homologuous spectra]

Fig. 3. Biplot showing the between-class analysis (BCA) performed on the MIR spectra of recent and degraded casts and topsoil aggregates without recent earthworm activity. Group significance was assessed by Monte Carlo tests.

Applied Soil Ecology 162 (2021) 103894 Contents lists available at ScienceDirect

Applied Soil Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apsoil



Check for updates



Thao Pham a, Cornelia Rumpel a, Yvan Capowiez b, Pascal Jouquet a, Céline Pelosi b, Anne Pando a, Hanane Aroui Boukbida a, Nicolas Bottinelli a,c,*

Overall accuracy 78%



Spectres MIR de vers de terre



Discriminant analysis of principal components (DAPC) performed on MIR spectra of casts from Avignon (two orchards, A1 and A2) and Versailles (two pastures, V1 and V2).

Fig. 4. Normalized confusion matrix for the prediction of earthworm species on the validation dataset (n = 11 for *L. terrestris* and n = 12 for the three other species) with the discriminant analysis of principal components model. The overall accuracy represents the number of correct predictions divided by total number of validation data.

Applied Soil Ecology 162 (2021) 103894

Contents lists available at ScienceDirect

Applied Soil Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apsoil



Check for

Mid-infrared spectroscopy of earthworm bodies to investigate their species belonging and their relationship with the soil they inhabit

Thao Pham^a, Cornelia Rumpel^a, Yvan Capowiez^b, Pascal Jouquet^a, Céline Pelosi^b, Anne Pando^a, Hanane Aroui Boukbida^a, Nicolas Bottinelli^{a, c,}

Insect. Soc. (2018) 65:77-84 DOI 10 1007/s00040-017-0589-0

CrossMark Insectes Sociaux

RESEARCH ARTICLE

Evidence from Mid-Infrared Spectroscopy (MIRS) that the biochemical fingerprints of Odontotermes obesus colonies change according to their geographical location and age

P. Jouquet^{1,2} · A. Pando¹ · H. Aroui¹ · A. Harit² · Y. Capowiez³ · N. Bottinelli^{1,4}

Spectres MIR de termites





Spectres MIR de vers de terre



Discriminant analysis of principal components (DAPC) performed on MIR spectra of casts from Avignon (two orchards, A1 and A2) and Versailles (two pastures, V1 and V2).

Fig. 4. Normalized confusion matrix for the prediction of earthworm species on the validation dataset (n = 11 for *L. terrestris* and n = 12 for the three other species) with the discriminant analysis of principal components model. The overall accuracy represents the number of correct predictions divided by total number of validation data.

L'imagerie hyperspectrale aéroportée VisNIR (400-2500 nm)

- 100 à 300 bandes spectrales
- Résolution spectrale de 5 à 10 nm
- Résolution spatiale autour de 4-5 m
- Perturbations atmosphériques
- Cibles : sols en milieu cultivé, avec hétérogénéités (humidité, cailloux, travail du sol...)



Fort potentiel pour estimer les propriétés du sol (% argile, carbone, fer, etc.)

	Geoderma xxx (2010) xxx-xxx	
	Contents lists available at ScienceDirect	
5-5-6-2	Geoderma	PERMIT DECIDENT AVAILABLE

Measuring soil organic carbon in croplands at regional scale using airborne imaging spectroscopy

Antoine Stevens^{a,*}, Thomas Udelhoven^b, Antoine Denis^c, Bernard Tychon^c, Rocco Lioy^d, Lucien Hoffmann^b, Bas van Wesemael

Contents lists available at ScienceDirect Geoderma journal homepage: www.elsevier.com/locate/geoderma

Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study

Geoderma 146 (2008) 403-41

Cécile Gomez ^{a,b,*}, Raphael A. Viscarra Rossel ^b, Alex B. McBratney ^b

IRD, Laboratoire d'étude des Interactions Sols-Agrosystèmes-Hydrosystèmes (LISAH), Campus AGRO-Bat.24, 34060 Montpellier, France stralian Centre for Precision Agriculture, Food and Natural Resources, McMillan Building, A05, The University of Sydney, NSW 2006, Australia

L'imagerie hyperspectrale aéroportée VisNIR (400-2500 nm)

- 100 à 300 bandes spectrales
- Résolution spectrale de 5 à 10 nm
- Résolution spatiale autour de 4-5 m
- Perturbations atmosphériques
- Cibles : sols en milieu cultivé, avec hétérogénéités (humidité, cailloux, travail du sol...)



Prédiction de la teneur en argile dans les sols du bassin versant de l'oued Lebna (Tunisie) 280 km²



Gomez et al., 2012

L'imagerie hyperspectrale aéroportée VisNIR (400-2500 nm) Prédiction de la teneur en argile dans les

- 100 à 300 bandes spectrales
- Résolution spectrale de 5 à 10 nm
- Résolution spatiale autour de 4-5 m
- Perturbations atmosphériques
- Cibles : sols en milieu cultivé, avec hétérogénéités (humidité, cailloux, travail du sol...)[§]
- Futures cibles : sols partiellement couverts de végétation

Capteur HYMAP Spectre de sol de pixels mixtes extrait par *semi-blind source separation*, d'après pixels de sol nu et spectres de feuille de vigne

Pixels de sol nu (4% de la zone) : PLSR spécifique RMSEP=44 g/kg et RPD=1.8

Prédiction de la teneur en argile dans les sols du bassin versant de la Peyne (Hérault) 24 km² majoritairement viticole

Pixels végétalisés en partie (90% de la zone) : extraction du spectre du sol puis PLSR RMSEP=49 g/kg et RPD=1.5 (si NDVI <0.6 soit 64% de la zone)

Ouerghemmi et al., 2011 et 2016

L'imagerie multispectrale satellitaire VisNIR (400-2500 nm)

- 3 à 12 bandes spectrales
- Résolution spectrale de **25 à 120 nm**
- Résolution spatiale de 10 à 30 m
- Perturbations atmosphériques fortes
- Cibles : sols en milieu cultivé, avec hétérogénéités (humidité, cailloux, travail du sol...)







Guesmi et al., 2018

Merci de votre attention

Une science engagée pour un futur durable

O