



La spectroscopie infrarouge au service des inventaires nationaux dédiés au Carbone des sols

Messages clés

1. La **Spectroscopie Infra-Rouge (SIR)** permet la **quantification du carbone organique du sol (COS)** à haut débit et faible coût pour renseigner les inventaires des pays au titre de la convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
2. L'approche SIR est utile pour un **état des lieux** à un instant donné des stocks de COS à différentes échelles spatiales, et pour le **suivi de l'évolution temporelle** à moyen ou long terme de ces stocks après un changement dans le mode d'utilisation et/ou de gestion des terres.
3. L'approche requiert **des compétences particulières en statistiques**. Elle doit reposer sur un personnel pleinement formé au traitement de la donnée spectrale.

L'essentiel

Pour une zone et un contexte pédoclimatique homogène, l'analyse au laboratoire d'une centaine d'échantillons de sol combinée à la technologie de **spectroscopie infra-rouge (SIR)** permet ensuite de prédire – sans surcoût analytique, grâce à un modèle de prédiction – la quantité de carbone de milliers d'échantillons de sol issus du même périmètre, et/ou de suivre son évolution des années après un changement d'usage ou de pratiques de gestion des terres. Les responsables d'inventaires nationaux et les chercheurs qui les accompagnent dans la démarche de collecte des données peuvent donc s'appuyer sur la SIR pour **amplifier et affiner les inventaires dédiés au carbone organique du sol (COS)**.

Le contexte

La matière organique du sol est constituée à plus de 50% de carbone et représente le plus grand réservoir de carbone des écosystèmes terrestres. C'est donc un compartiment essentiel des cycles des gaz à effet de serre et un déterminant majeur de la fertilité des sols. Les inventaires nationaux destinés à apprécier les teneurs (g C/kg) ou les stocks (g C/dm³ ou tonne C/ha) de carbone organique contenu dans les sols et leur évolution dans le temps sont nécessaires mais fastidieux.



Effluents d'élevage en bord de champ avant épandage (Niakhar, Sénégal)



Faciliter et préciser les données d'inventaires nationaux

Pour un même contexte pédoclimatique, la teneur en carbone d'un sol varie en fonction du mode d'occupation et de gestion des terres ; elle est donc variable spatialement et temporellement.

Le nombre d'échantillons collectés sur le terrain doit permettre de **renseigner cette variabilité spatio-temporelle** mais il est souvent limité par la capacité analytique des laboratoires et le coût associé. **La spectroscopie infra-rouge (SIR) permet d'estimer précisément et facilement les teneurs en carbone organique du sol (COS)**, y compris pour les sols sableux de la zone soudano-sahélienne, peu pourvus en matière organique.



Acquisition des spectres sur un lot d'échantillons tamisés et séchés à l'air

Produire un modèle de prédiction de qualité

L'étalonnage, ou « calibration »

Les données spectrales d'un lot d'échantillons de taille relativement réduite sont comparées aux informations issues d'analyses conventionnelles en laboratoire pratiquées sur le même lot d'échantillons.

Cette étape appelée « étalonnage » (ou également « calibration » par anglicisme) permet alors de proposer des **modèles de prédiction** plus ou moins performants.

Méthodologie

Comment fonctionne la Spectroscopie Infra-Rouge ?

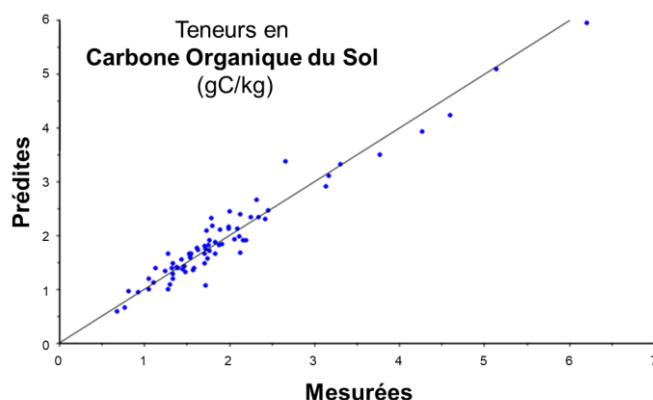
La lumière infrarouge réfléchie par un matériau contient de l'information (spectrale) sur ce matériau.

Un faisceau de rayonnement infrarouge (c'est-à-dire une partie du spectre de la lumière naturelle, celle dans les ondes dites infra-rouge) est projeté sur un échantillon par un instrument, le spectromètre, qui collecte en retour l'intensité avec laquelle le rayonnement est réfléchi par l'échantillon. Ces informations spectrales renseignent sur une propriété d'intérêt de l'échantillon ; en l'occurrence, pour notre objectif, la teneur en carbone organique du sol.

Sélectionner des moyens techniques adaptés

Il existe différents types d'appareillage au coût et aux performances variables, pour un usage sur le terrain ou, avec une précision plus fine, au laboratoire sur une collection de sols existante ou constituée spécifiquement pour les besoins. Le choix n'est pas anodin car il impacte la qualité des estimations.

Modèle d'étalonnage



Exemple d'un modèle performant établi sur un lot d'échantillons de sols collectés en système sylvopastoral (Dahra, Sénégal) dans le cadre du projet de recherche et développement CaSSECS.

Produire un modèle de prédiction de qualité

S'assurer de la qualité du modèle retenu

La qualité des modèles dépend de leur **précision** et de leur **robustesse**.

La précision peut être affectée par la diversité et le volume du jeu d'échantillons, la qualité des données chimiques et spectrales et les traitements mathématiques et statistiques qui leur sont appliqués. La robustesse du modèle, c'est-à-dire sa facilité d'application à d'autres sols, est dépendante du processus de construction du modèle. L'étape de validation du modèle d'étalonnage permet de trouver le juste équilibre entre précision et robustesse.

Le meilleur modèle de prédiction, obtenu après calibration et validation, est utilisé pour estimer la teneur en carbone sur de nouveaux échantillons de sols, et ce uniquement à partir des informations spectrales.

Méthodologie

L'analyse des données par chimiométrie

L'application d'outils mathématiques et statistiques pour exploiter l'information spectrale.

Un prétraitement mathématique des spectres est une étape préalable nécessaire pour intensifier la signature spectrométrique et réduire le bruit. La construction de modèles s'appuie sur des méthodes statistiques sophistiquées, comme par exemple la régression des moindres carrés partiels (*partial least squares*, PLS) pour condenser l'information redondante des spectres (réflectance à plusieurs centaines ou milliers de longueurs d'ondes) en quelques variables dites latentes utilisées pour la régression.

La qualité d'un modèle est évaluée par divers paramètres. Le (classique) coefficient de détermination R^2 doit être accompagné d'autres indicateurs (erreur standard de prédiction, Biais, ratio de la performance à la déviation ou de la performance à la distance interquartile).

Recommandations

1. **Equiper les institutions scientifiques** en spectroscopie infra-rouge en choisissant un instrument adapté aux besoins.
2. **Dédier et former du personnel technique et scientifique** au traitement des données spectrales appliquées aux sols.

Bibliographie

- Barthès B.G., Barthès B.G., Cambou A. & Chevallier T. 2023. Quantifier le carbone organique du sol par spectroscopie infrarouge. *Etude et Gestion des Sols*, 30, 287-305. <https://hal.science/hal-04515788>
- Barthès B.G. & Chotte J.L. 2021. Infrared spectroscopy approaches support soil organic carbon estimations to evaluate land degradation. *Land Degradation and Development*, 32 (1), 310-322. <https://doi.org/10.1002/ldr.3718>
- Barthès B.G., Kouakoua E., Clairotte M., Lallemand J., Chapuis-Lardy L., Rabenarivo M. & Roussel S. 2019. Performance comparison between a miniaturized and a conventional near infrared reflectance (NIR) spectrometer for characterizing soil carbon and nitrogen. *Geoderma* 338, 222-429. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.031>
- Chevallier T., Razafimbelo T.M., Chapuis-Lardy L. & Brossard M. éd. 2020 – Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Rome/Marseille, FAO/IRD, 268 p., <https://doi.org/10.4060/cb0403fr>
- Derrien D., Dignac M-F., Basile-Doelsch I., Barot S., Cécillon L., Chenu C., Chevallier T., Freschet G., Garnier P., Guenet B., Hedde M., Klumpp K., Lashermes G., Maron P-A., Nunan N., Roumet C. & Barré P. 2016. Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Etude et gestion des Sols* 23, 193-223. https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2023/04/EGS_23_1_2314_derriendignac193_224_V3.pdf
- Malou O.P., Moulin P., Chevallier T., Masse D., Vayssières J., Badiane Ndour N.Y., Tall L., Thiam A. & Chapuis-Lardy L. 2021. Estimates of carbon stocks in sandy soils cultivated under local management practices in Senegal's groundnut basin. *Regional Environmental Change* 21:65. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01790-2>

Besoin d'une référence-clé ?



Scannez le QR code !

Auteurs
Lydie LARDY (IRD – UMR Eco&Sols)
Patricia MOULIN (IRD – UAR IMAGO)
Aurélien CAMBOU (IRD – UMR Eco&Sols)

✉ lydie.lardy@ird.fr
patricia.moulin@ird.fr
aurelie.cambou@ird.fr

Partenaires CaSSECS



Coordinateur



Financé par





Contexte

L'Accord de Paris a renforcé l'effort mondial sur le climat en exigeant des pays signataires qu'ils se fixent des objectifs climatiques en matière de réduction de gaz à effet de serre (GES). Ainsi, les États membres du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), se sont engagés à fournir des inventaires nationaux étayés par des rapports de **données sur leurs émissions et absorptions de GES issues de tous les secteurs**. Selon les modèles d'estimation actuels, **les émissions de GES issues de l'élevage de ruminants en systèmes (agro) pastoraux représenteraient une part importante des émissions totales de GES** dans de nombreux pays en développement, et elles devraient augmenter au cours des prochaines décennies. Ces systèmes sont indexés comme des émetteurs importants notamment en raison d'**insuffisance de données, de référentiels et de compétences scientifiques et techniques fiables**. La durabilité de ces écosystèmes est aujourd'hui menacée alors même qu'ils offrent de multiples bénéfices et services (sociaux, économiques, culturels) aux populations du Sahel.

Objectifs du projet

Objectif général

Améliorer l'évaluation du bilan carbone des écosystèmes (agro) sylvo-pastoraux sahéliens afin de mieux quantifier leurs impacts sur le changement climatique pour l'élaboration de politiques d'élevage adaptées au Sahel.

Les résultats obtenus

- Des dispositifs nationaux et régionaux de **production et d'actualisation des données de référence** sur les émissions de GES et le potentiel de stockage du carbone des écosystèmes (agro) sylvo-pastoraux sont renforcés et fonctionnels ;
- Des **outils d'évaluation multi-échelle du bilan carbone** sont élaborés et contribuent aux inventaires nationaux, la rédaction des rapports GIEC et des politiques de développement de l'élevage ;
- Des **options innovantes d'atténuation durable** des GES sont coconçues, testées et validées avec les (agro) pasteurs ;
- Les **compétences des acteurs sur l'évaluation des bilans carbone** sont renforcées et la vision commune du dialogue interinstitutionnel est renouvelée.



Vidéo CasSECS

Axes de travail

1. Production de données de référence sur les émissions de GES et le stockage de carbone
2. Amélioration du dispositif du bilan carbone à l'échelle nationale
3. Co-conception et diffusion d'options d'atténuation de l'impact de l'élevage sur le changement climatique
4. Renforcement des compétences sur l'évaluation de l'impact environnemental des systèmes d'élevage
5. Coordination, dissémination, communication et suivi-évaluation

En bref...

• Acteurs impliqués

Le projet implique plus de 100 chercheurs et enseignants chercheurs. Il finance 10 thèses de doctorat et une quarantaine de stages de master.

- **Groupes cibles** : agents techniques des États et ONG, responsables d'inventaires, décideurs, chercheurs et enseignants-chercheurs, organisations et associations professionnelles de pasteurs et d'agropasteurs.

- **Bénéficiaires finaux** : ménages pastoraux et agro(pastoraux).

• **Budget** : 5 millions d'euros

• **Durée** : 5 ans (2020-2024)

• **Bailleur** : Programme européen DeSIRA Union Européenne

Des résultats utiles et mobilisables

Les notes politiques et techniques ci-jointes ont vocation à faciliter la circulation de l'information et les échanges entre :

Responsables d'inventaires : s'informer sur de nouveaux outils de mesure et d'analyse permettant de contextualiser les données d'inventaires et de faire avancer les capacités techniques de la région.

Décideurs : s'appuyer sur la recherche pour se conformer au cadre de transparence international et disposer d'arguments pour défendre les systèmes d'élevage (agro) pastoraux sahéliens.

Chercheurs : comprendre la recherche en cours dans la région pour des systèmes d'élevage (agro)pastoraux plus résilients.



Trois pays cibles :
Burkina-Faso, Niger et
Sénégal
Extension auprès
des pays du CILSS



@ProjetCassecs



@ProjetCaSSECS



@projetcassecs6119

Quelques outils et dispositifs



GreenFeed® – dispositif de mesure d'émissions de méthane entérique



SIR – composition chimique des rations alimentaires et sols



Drones – étude de la dynamique de la végétation



Colliers GPS – suivi démographique des animaux transhumants



Modélisation des flux de GES

Partenaires CaSSECS

