Development of prediction models for Fe, Al, C and N in costarician soils using NIR spectroscopy

[1,2,3]*Ulysse CHABROUX, [3] Juan-Carlos MENDEZ FERNANDEZ, [4]Aurélie CAMBOU, [5,6]Gilles CHAIX, [1,7,8] Julien DEMENOIS

[1]AIDA, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France
[2]ENS-PSL, département de Géosciences, 75005 Paris 5e, FRANCE
[3] CENTRO DE INVESTIGACIÓNES AGRONÓMICAS, Laboratorio de Suelos y Foliares, San Pedro, Montes de Oca, Universidad de COSTA RICA

[4] Eco&Sols, Université de Montpellier, CIRAD, INRAE, IRD, Institut Agro, 34060 Montpellier – France

[5] CIRAD, UMR AGAP Institut, F-34398, Montpellier, France
[6] AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, F-34398 Montpellier, France
[7] CIRAD, UPR AIDA, Turrialba 30501, Costa Rica.
[8] CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba 30501, Costa Rica.

*ulysse.chabroux@ens.psl.eu

Mots-clefs : Sols tropicaux, Modèle PLSR, Spectroscopie Proche-Infrarouge, Carbone du sol, Fer du sol, Aluminium du sol.

Résumé :

La spectroscopie infrarouge a déjà fait les preuves de son efficacité pour l'étude des sols. Elle permet d'obtenir à moindre coût des informations clés sur la chimie et la physique de tous les types de sols, et beaucoup plus rapidement que les analyses chimiques en laboratoire utilisées plus classiquement. La littérature fournit des exemples de modèles de prédiction dans le cas de sols tropicaux, et particulièrement pour l'étude de sols volcaniques tropicaux (Andosols).

Cependant, afin de pouvoir utiliser la spectroscopie infrarouge pour prédire les caractéristiques physico-chimiques des sols, il est nécessaire de développer un modèle de prédiction basé à la fois sur les mesures de référence de laboratoire et sur les spectres infrarouges d'échantillons d'étalonnage.

Dans le cas d'études locales ou régionales, la constitution d'une base de données (incluant à la fois les spectres et les mesures de références) suffisamment grande pour permettre la construction d'un modèle sans biais et avec une erreur de prédiction faible peut être un véritable défi. Ajouter dans le modèle, en plus des spectres infrarouges, des variables indépendantes facilement mesurables sur le terrain qui covarient avec les variables d'intérêt, comme l'altitude ou la profondeur de prélèvement, constitue une voie potentielle, et généralement peu explorée, pour améliorer les performances d'un modèle de prédiction.

Dans cette étude, nous construisons un modèle de prédiction régional pour le C, le N, le Fe et l'Al grâce à des échantillons d'andosols (collectés à deux profondeurs ou plus sur chaque site) issus des agrosystèmes de la région de Cartago, au Costa Rica. Les mesures de Fe et d'Al en laboratoire ont consisté en une extraction à l'oxalate d'ammonium, et les mesures de C et N ont été effectuées par combustion sèche. La méthode utilisée pour l'étalonnage est la régression des moindres carrés partiels (PLSR) entre des mesures de laboratoire et les spectres infrarouges de 108 échantillons de sols prélevées sur le flanc sud du volcan Irazú, une zone intensivement utilisée pour le maraîchage et l'élevage bovin (prairies), et où les enjeux de gestion des sols sont importants. En effet, cette région présente une

utilisation de phytosanitaires et d'engrais record au Costa Rica, ce qui entraîne une pollution des sols et des nappes phréatiques environnants.

La zone d'échantillonnage, constituée par 39 sites de collecte, est large de 16 km d'Est en Ouest et de 14 km du Sud au Nord et couvre un important gradient d'altitude (allant de 500m *a.s.l.* à 3500m *a.s.l.*), associé à un important gradient de températures moyennes et de précipitations, ce qui permet d'entraîner le modèle de prédiction sur une gamme de valeurs de paramètres physico-chimiques représentatifs des variations de la région.

Pour chaque élément (C, N, Fe, Al), un modèle de prédiction indépendant a été effectué. Pour chacun des quatre éléments, septs prétraitements spectraux ont été testés, ainsi que l'ajout un à un de quatre paramètres environnementaux (i.e. altitude, profondeur de l'échantillon, altitude et profondeur, sans ajout de paramètre environnemental). Ainsi, pour chaque élément, 28 modèles PLSR ont été construits. Les échantillons ont été séparés en deux sous-groupes, en utilisant l'algorithme Duplex sur les spectres pré-traités et en conservant les différents horizons d'un même point d'échantillonnage dans un même sous-groupe : l'un pour l'étalonnage du modèle (83 échantillons) et l'autre pour la validation du modèle (25 échantillons). L'étalonnage a été réalisé en validation croisée avec 3 groupes répétés 10 fois en respectant les règles précédentes.

La performance d'un modèle de prédiction a été évaluée en regardant la Déviation Résiduelle de Prédiction (RPD). Dans le domaine du sol, un modèle est considéré satisfaisant si le RPD est supérieur à 1,6. Dans la majorité des cas, ajouter une ou deux variables environnementales aux spectres IR dans le modèle de prédiction améliore sa qualité en validation. L'Al est l'élément le mieux prédit, avec un RPD allant jusqu'à 2,8 en utilisant les spectres seuls et jusqu'à 3,0 en y ajoutant l'altitude et la profondeur comme covariables. Le RPD de validation est de 2,1 pour la prédiction de C et de 2,0 pour la prédiction de N en ajoutant l'altitude aux spectres, contre respectivement 1,6 et 1,5 en utilisant les spectres seuls. Le Fe est l'élément le mois bien prédit par le modèle, avec un RPD ne dépassant pas 1,6 avec seulement les spectres IR, et de 1,8 avec l'ajout de l'altitude et de la profondeur.

Le C et le N sont très liés à la présence de matières organiques et de racines dans les sols. Ils sont donc concentrés près de la surface, et positivement corrélés à la température (donc inversement corrélés à l'altitude). Le Fe est présent sous de nombreuses formes à l'état naturel dans les Andosols, et la méthode d'extraction à l'oxalate permet d'obtenir la totalité du Fe du sol, indépendamment des proportions de ces différentes formes, ce qui pourrait expliquer les difficultés observées à prédire cet élément seulement à partir des spectres infrarouges.

Au-delà des résultats encourageants de notre étude, celle-ci souligne aussi l'intérêt d'ajouter des variables environnementales facilement accessibles sur le terrain, comme l'altitude ou la profondeur d'étude, pour améliorer la qualité des modèles de prédiction.

Ces travaux s'inscrivent dans une volonté pour les différents laboratoires du Costa Rica d'être en mesure d'effectuer des prédictions de propriétés du sol grâce à la spectrométrie infrarouge : la présente étude, issue d'une collaboration entre l'Université du Costa Rica et le CIRAD, mais également dans le cadre d'une campagne de caractérisation des sols et de cartographie du territoire (utilisant les outils spectroscopiques) menée par l'Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).