

Spatialisation du stock de carbone sous l'effet des types de sols et des classes d'utilisation des terres dans le bassin hydrographique de la rivière Bretelle (Cabaret/Haïti)

W. Jeune^{1,2*}, M. Desruisseaux², Mackenson Marrion¹, Caroline Staub^{2,3}, ¹Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Environnement, Université Quisqueya, Haïti. ²Feed the Future Haiti-AREA Project, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, Gainesville, Florida, USA. ³University of Florida

*Corresponding author: Jeune, Wesly (wesly.jeune@ufl.edu; weslyjeune@hotmail.com; wesly.jeune@ufv.br)

RESUME

Jeune W., Desruisseaux M., Marrion M. et Staub C. 2019. Spatialisation du stock de carbone sous l'effet des types de sols et des classes d'utilisation des terres dans le bassin hydrographique de la rivière Bretelle (Cabaret / Haïti). RED 8 (2) : 5 - 11

La présente étude a estimé et spatialisé le stock de carbone organique (SCO) dans le bassin versant de la rivière Bretelle (Cabaret/Ouest Haïti). Elle a également évalué l'influence des types de sol et de la couverture et de l'utilisation des terres (CUT) sur la distribution du SCO. Dans un secteur hydrographique s'étendant sur 1 242 ha, un relevé pédologique assorti d'un échantillonnage aléatoire et stratifié a permis de collecter sur des sites géoréférencés, 70 échantillons de sol sur une profondeur de 20 cm. Les mêmes sites ont servi à prélever des échantillons non déformés pour la détermination de la densité apparente et pour l'analyse de la matière organique. La classification des sols a été effectuée selon le système *Soil Taxonomy*. La cartographie de la CUT a été réalisée à l'aide du classificateur Random Forest selon la technique de classification supervisée. L'approche géostatistique a été adoptée dans la spatiation SCO qui a été interpolée selon la technique du krigeage ordinaire. Le test de Tukey (5%) a été utilisé pour comparer les moyennes de la SCO et celles de la CUT entre les classes de sol. Le pedo système de la zone d'étude est dominé par les Inceptisols (Fluventic Haplustepts, Lithic Calcustepts) et les Entisols (Lithic Ustorthents, Typic Ustorthents). L'analyse du SCO a suggéré une variation de 12,41 à 165,7 Mg/ha avec une moyenne de 48,9±7,3 Mg/ha. Quant au SCO, le test de Tukey a permis de vérifier une différence statistiquement significative ($p=9.28e-06<5\%$) entre les classes de sol ; tandis qu'aucune différence significative n'a été détectée pour les catégories de CUT. Les résultats ont montré que la séquestration du SCO était essentiellement contrôlée par les types de sols desquels dépendent les modes d'utilisation.

Mots clés : Séquestration du carbone, gaz à effet de serre, géostatistique, classification des sols

ABSTRACT

Jeune W., Desruisseaux M., Marrion M. and Staub C. 2019. Spatial distribution of carbon stock under different soil types and land use classes in the Bretelle watershed (Cabaret / Haiti). RED 8 (2) : 5 - 11

This study estimated and spatialized soil organic carbon stock (SCO) in the watershed of the Bretelle river (Cabaret / Western Haiti). It also assessed the influence of soil and land use and land cover (LULC) on the distribution of SCO. In a sub-basin of 1 242 ha in size, a soil survey was carried out according to a randomly stratified sampling design, from which 70 georeferenced soil samples were collected at 20 cm depth. In the same sites, soil samples were collected for soil bulk density determination and organic matter analyses. Soil classification was based on the Soil Taxonomy system. The LULC mapping was performed using the Random Forest classifier according to the supervised classification technique. The geostatistical approach was adopted in the SCO spatialization, which was interpolated from the ordinary kriging. The comparison of SCO between soil classes and those of LULC was performed through an ANOVA followed by a Tukey test (5%). The pedosystem of the studied area is dominated by Inceptisols (Fluventic Haplustepts, Lithic Calcustepts) and Entisols (Lithic Ustorthents, Typic Ustorthents). The SCO ranged from 12.41 to 165.7 Mg/ha with an average of 48.9 ± 7.3 Mg/ha. As for the SCO, The Tukey test showed a statistically significant difference ($p = 9.28e-06 < 5\%$) between the soil classes; while no statistically significant difference was detected for the LULC categories. The results suggests that SCO storage was fundamentally controlled by the soil types, on which the LULC depended.

Key words: Carbon sequestration, greenhouse gas, geostatistics, soil classification

Introduction

La séquestration du carbone dans le sol constitue une solution durablement efficace apte à mitiger les émissions des gaz à effet de serre. Se comportant comme un réservoir de carbone, le sol concentre 2 500 Gt

du carbone de l'écosystème terrestre, dont 1 550 Gt sont représentés par le carbone organique, soit 3.3 fois le carbone présent dans l'atmosphère (14, 51). En raison de cette magnitude, des pertes relativement faibles en carbone du sol peu-

vent considérablement augmenter la teneur en CO₂ dans l'atmosphère et par conséquent, modifier les conditions climatiques (4).

Selon Mandal *et al.*, le carbone séquestré dans le sol a un impact positif sur la santé du sol tout en permettant de lutter contre le réchauffement climatique (20). Car, les sols riches en carbone organique sont plus productifs et sont en mesure de contribuer aux services écosystémiques (13, 7, 24). De même, Adhikari *et al.* soutiennent que ce carbone contribue à diverses fonctions du sol dont la production de biomasse, la rétention et le filtrage de l'eau et le maintien de la biodiversité (1). Dans ce contexte, le potentiel de séquestration du carbone par le sol a été mis en évidence durant le COP 21, duquel a émergé l'initiative globale désignée "*4 per 1 000*". Cette initiative visant l'accumulation de 0.4% de carbone dans le sol annuellement, pourrait restaurer la qualité des sols, promouvoir la sécurité alimentaire et nutritionnelle et améliorer l'environnement (15).

La capacité à emmagasiner le carbone organique est contrôlée par des facteurs intrinsèques du sol, des caractéristiques environnementales et aussi par des actions anthropiques. Ainsi, des études antérieures suggèrent que le mode d'utilisation et de couverture des terres est déterminant dans le stockage du carbone organique du sol (COS) (23, 22, 3, 10). Veldkamp a montré l'influence des types de sols sur le stock de carbone (26). Deb *et al.* considèrent la température et les précipitations comme étant les facteurs contrôleurs de la dynamique du COS (6).

Tenant compte de la variabilité spa-

tiale des facteurs environnementaux ainsi que les changements opérés dans le mode d'utilisation des sols, il est clair que le COS varie également dans l'espace et dans le temps. Par ailleurs, l'ampleur de cette variation peut-être plus significative dans les pays tropicaux et à relief montagneux qui favorisent l'accélération de l'érosion des sols, comme c'est le cas en Haïti. La compréhension de la variabilité spatiale du stock de carbone du sol fournit des indications sur le degré de résilience de ce dernier ou sa capacité à résister à la dégradation, sa capacité à mitiger les gaz à effet de serre et la durabilité du système de culture pratiqué (17). Néanmoins, En Haïti, la teneur et la distribution spatiale du carbone du sol n'ont pas été suffisamment investiguées.

La présente étude examine l'influence des types de sol et du mode d'utilisation des terres sur le potentiel de séquestration du carbone organique du sol. Elle intègre les techniques du SIG (Système d'Information Géographique), de la télédétection et de l'apprentissage automatique (*machine learning*) pour cartographier et analyser le stock de carbone du sol.

Matériels et Méthodes

Caractéristiques de la zone d'étude

L'étude a été réalisée sur une superficie de 1 222 ha se localisant dans un secteur hydrographique du bassin versant de la rivière Bretelle. Cette dernière traverse la zone du nord au sud (Figure 1).

Le climat est classé Aw selon le système de classification climatique de Köppen-Geiger. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 1 079 mm et les températures minimale et maximale varient de 18,4°C en Janvier à 33,9°C en Août, respectivement (Figure 2).

La géologie est constituée essentiellement de formation quaternaire fortement influencée par le calcaire au niveau de la plaine. Le calcaire est la formation lithologique dominante dans les collines et les mon-

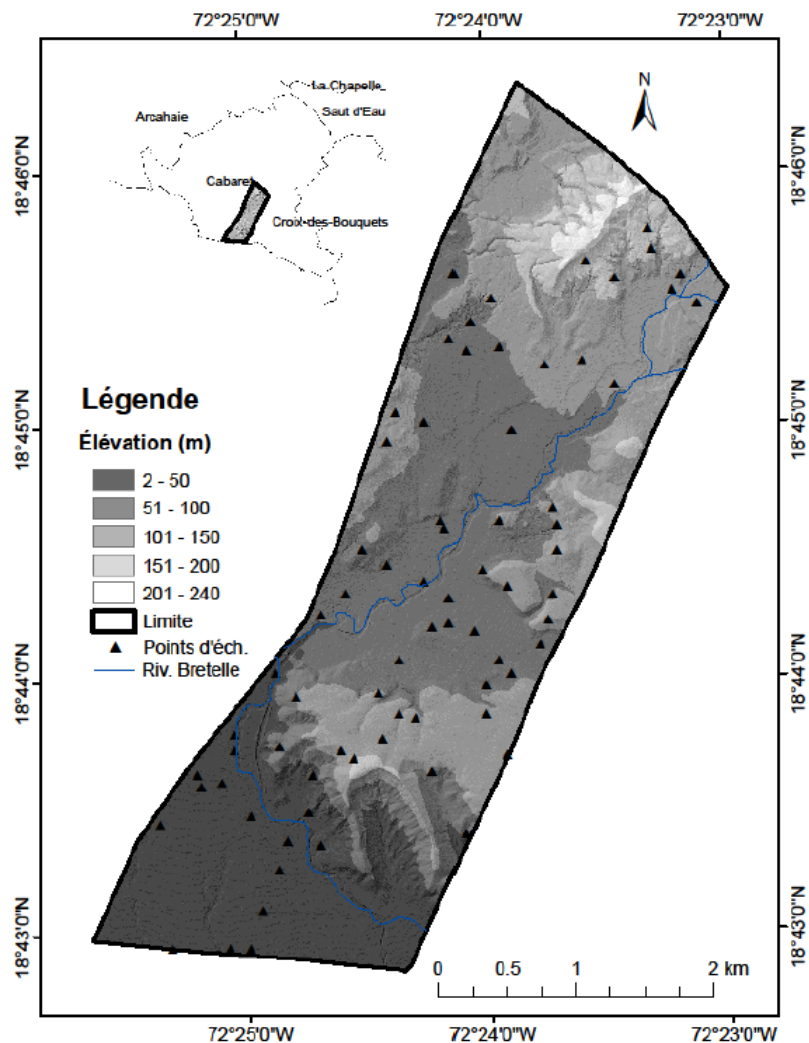


Figure 1. Points d'échantillonnage dans la zone d'étude

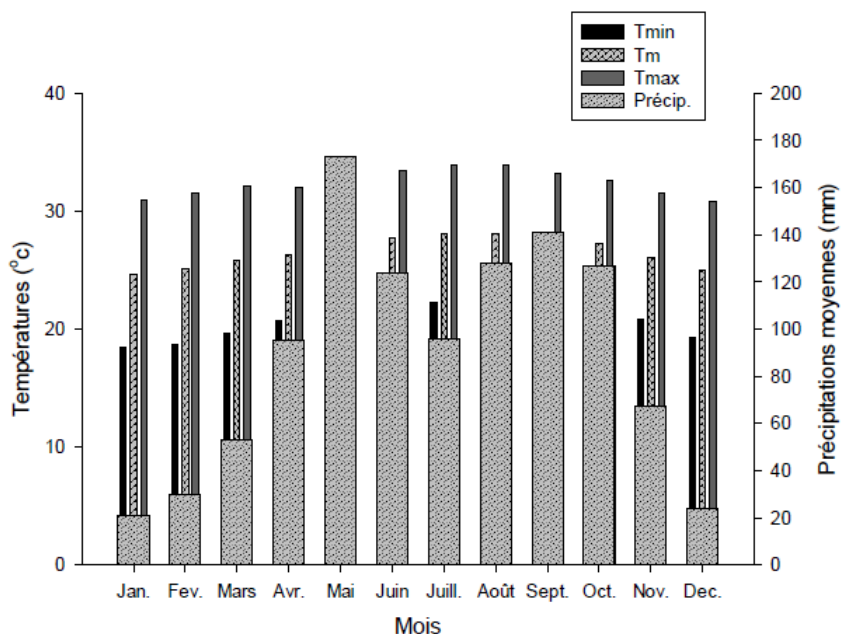


Figure 2. Distribution des températures minimales (Tmin), moyennes (Tm), maximales (Tmax) et des précipitations (Précip.) dans la zone d'étude

tagnes. Dans ce paysage calcaire, des intrusions basaltiques et d'arénites sont observables surtout dans les ravines formées par contact lithologique.

L'altitude varie de 2 m à proximité du littoral à 240 m. Le relief est plane au niveau de la basse plaine et fortement ondulé dans la partie amont. Les formes convexes des collines résiduelles sont caractéristiques des paysages calcaires. Aussi le paysage est intensément érodé, laissant ainsi apparaître un réseau de ravines, qui par le processus du charriage, contribuent à l'aggradation des terres de la basse plaine. L'érosion des versants est favorisée par l'exposition des sols, conséquence d'un couvert végétal faible et d'une agriculture non conservationniste.

La végétation est composée d'un mélange d'espèces rabougriées et arborées avec une prédominance des espèces xérophytiques sur les collines érodées à pédogenèse limitée.

L'agriculture est le principal mode d'utilisation des terres. Les espèces les plus couramment cultivées sont : la banane, la canne-à-sucre, le maïs (*Zea mays*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le vigna, le pois congo (*Cajanus cajan*) et le manioc (*Manihot esculenta*). Par ailleurs, la banane (*Musa sp.*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) et le haricot sont surtout cultivées sur les terres de plaine où l'irrigation gravitaire favorise l'intensification des activités agricoles. Tandis que sur les collines et les terres pentues, se rencontrent surtout le manioc, le pois congo, le maïs, le vigna, etc. Les habitations et les arbustes occupent un grand pourcentage de cette superficie. Le pedosystème de la zone est dominé par les Inceptisols et les Entisols. Les affleurements rocheux occupent surtout les parties Nord et Est où les reliefs sont accentués.

Sources et traitement des données

Les données nécessaires à la détermination du COS ont été générées à partir d'une étude pédologique réali-

sée dans la zone d'étude. Pour ce, un schéma d'échantillonnage aléatoire et stratifié basé sur la technique du *conditionned Latin Hypercube Sampling* (cLHS) a été utilisé.

À partir de 70 points géolocalisés, le stock de carbone (Sc) a été mesuré et spatialisé en considérant la profondeur de 20 cm (*topsoil*). Il a été calculé à partir de la formule $COS = \frac{DaxCxEx}{h}$, où, COS est exprimé en t/h, Da (densité apparente) en Mg/m^3 ; C désigne le % de carbone organique, E (épaisseur ou profondeur de la couche considérée) en cm.

La matière organique (MO) a été analysée selon la méthode de perte au feu (LOI). La relation qui lie la MO au carbone organique est la suivante : $C = MO/1.742$. Tandis que la densité apparente a été déterminée par la méthode du cylindre de Kopec.

Les sols ont été classés selon le système américain de classification *Soil Taxonomy* pour chaque point échantillonné. Cette classification a été réalisée au niveau catégorique du sous-groupe. Les classes de sol ainsi déterminées ont été étudiées par rapport à leur position dans le paysage, en se basant sur des paramètres topographiques.

La couverture et l'utilisation des terres ont été cartographiées en se servant de la technique de la classification supervisée. Après avoir été soumises aux corrections radiométrique et topographique selon la méthode de Minnaert, les bandes deux à sept des images de Landsat 8 OLI d'une résolution spatiale de 30 m et capturées le 13 octobre 2017, ont été traitées en utilisant l'algorithme de "machine learning Random Forest". En termes d'utilisation et de couver-

ture, les terres ont été classées en quatre catégories : agriculture, sols nus, bâtis, et végétation.

La cartographie du stock de carbone est fondée sur l'approche géostatistique qui est largement utilisée dans la spatialisation des données pédologiques (9, 21, 8). Ainsi, l'interpolateur du krigeage ordinaire a été adopté après l'évaluation de la présence de structure spatiale selon le test I de Morans confirmé par l'ajustement d'un modèle de semivariogramme. En raison de la taille réduite de l'échantillon, la validation du modèle d'interpolation a été réalisée selon la méthode de validation croisée *LOOCV* (*leave one out cross validation*). Pour évaluer l'influence des classes de sol et des catégories d'utilisation sur le COS, une analyse de variance suivie du test de Tukey au seuil critique de 5% a été effectuée. Les données ont été traitées au moyen des logiciels : ArcGis 10.5; SAGA 3.0.0 ; Garmin Basecamp 4.7.0 ; SigmaPlot 12.0 et R 3.4.1.

Résultats et discussions

Les classes de sols observés

Dans la zone d'étude, les classes de sol les plus dominantes correspondent aux Fluventic Haplustepts (36 %), Lithic Ustorthents (20 %), Typic Ustorthents (18 %), Typic Haplustepts (13 %), Lithic Calciustepts (13 %). Les inceptisols (Fluventic Haplustepts, Typic Haplustepts, Lithic Calciustepts) se localisent dans les aires à faible déclivité (<8 %) et où le facteur de longueur de pente (*LS factor*) est moindre (Tableau 1), contrairement aux deux autres classes de sol (Lithic Ustorthents, Typic Ustorthents). Mis à part les Fluventic Haplustepts qui

Tableau 1. Classes de sols en rapport aux valeurs moyennes de paramètres topographiques

Classes de sol	Déclivité (%)	Élévation (m)	LS_Factor
Fluventic Haplustepts	2,6	57,1	0,3
Lithic Calciustepts	6,8	112,0	0,9
Lithic Ustorthents	15,2	113,1	2,1
Typic Haplustepts	2,3	92,5	0,3
Typic Ustorthents	11,4	96,3	1,6

Tableau 2. Matrice de confusion entre les classes de couverture et d'utilisation des terres

	Agriculture	Sol nu	Bâtis	Végétation	Pr. P ¹
Agriculture	23	1	0	0	0,96
Sol nu	0	24	2	0	0,92
Bâtis	0	2	27	1	0,90
Végétation	1	1	1	27	0,90
Pr. U ²	0,96	0,86	0,90	0,96	NA

¹Pr. U : précision pour l'utilisateur ; ²Pr. P: précision pour le producteur

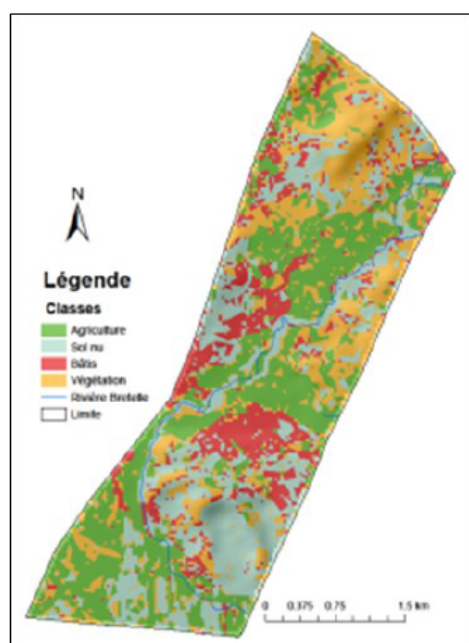


Figure 3. Utilisation des terres dans le bassin hydrographique de Bretelle

sont des sols influencés par les sédiments d'origine fluviale ou alluviale, ces classes de sols se rencontrent à faibles altitudes là où le relief est suffisamment plat pour favoriser les dépôts de sédiments récents. Il s'en suit que les sols sont majoritairement jeunes du fait du climat peu humide et du relief ondulé dans les parties Nord et Est, conditions qui limitent l'altération des roches et des minéraux. De l'autre côté, les sols développés à basse altitude en terrain plat subissent une pédogenèse limitée du fait des dépôts de sédiments occasionnant ainsi le processus de rajeunissement cyclique. Ces observations coïncident avec celles réalisées par Jeune *et al.* et Libohova *et al.* (11, 18).

Cartographie de la couverture et de l'utilisation des terres

La carte d'utilisation et de couverture des terres (CUT) a été réalisée

à partir de 350 points d'observation, en utilisant le classificateur *Random Forest*. Ainsi, la matrice d'erreur ou de confusion générée durant le processus de classification a permis de vérifier un indice kappa 0.89 (Tableau 2). La valeur de cet indice peut être catégorisée de forte concordance. Le classificateur s'est révélé adéquat dans la séparation des classes de couverture et d'utilisation des terres pour la zone d'étude.

À partir de la carte de CUT ainsi réalisée, il a été possible de constater que 30,8 % de la zone d'étude étaient occupés par les activités agricoles, tandis que 25,5 % étaient constitués de sol nu (Figure 3). Les zones habitées et les végétations représentaient 16,8 % et 26,9 %, respectivement. Il est à noter que les terres exploitées de manière intensive correspondent généralement aux sols d'origine alluviale bénéficiant de l'eau d'irrigation.

Stock de carbone évalué et spatialisé

Les analyses de statistiques descriptives sur le stock de carbone suggèrent une variation de 12,4 à 165,5 Mg/ha avec une moyenne de 48,9 $\pm$ 7.3 Mg/ha et un coefficient de variation de 62.6 %. Ces valeurs sont concordantes avec celles rapportées par Scolforo *et al.* qui ont vérifié une valeur moyenne de 48.6 Mg/ha lors de la cartographie du stock de carbone dans l'état de *Minas Gerais*, au Brésil (25). Une valeur moyenne plus faible (41.0 $\pm$ 5.4 Mg/ha) a été observée pour le stock de carbone spatialisé à des profondeurs variables, dans le cadre d'une étude conduite dans le bassin hydrographique Guapi-Macacu, Rio de Janeiro au Brésil (10). Par ailleurs, une valeur moyenne de 90 Mg/ha a été obtenue dans le cadre d'une étude réalisée dans l'état de Wisconsin, USA (1). Les auteurs ont attribué ce niveau de carbone à divers facteurs, incluant le matériau parental, l'utilisation des terres et le climat tempéré. Des observations similaires ont été rapportées par Andrade *et al.* (2).

Dans le but de spatialiser le COS,

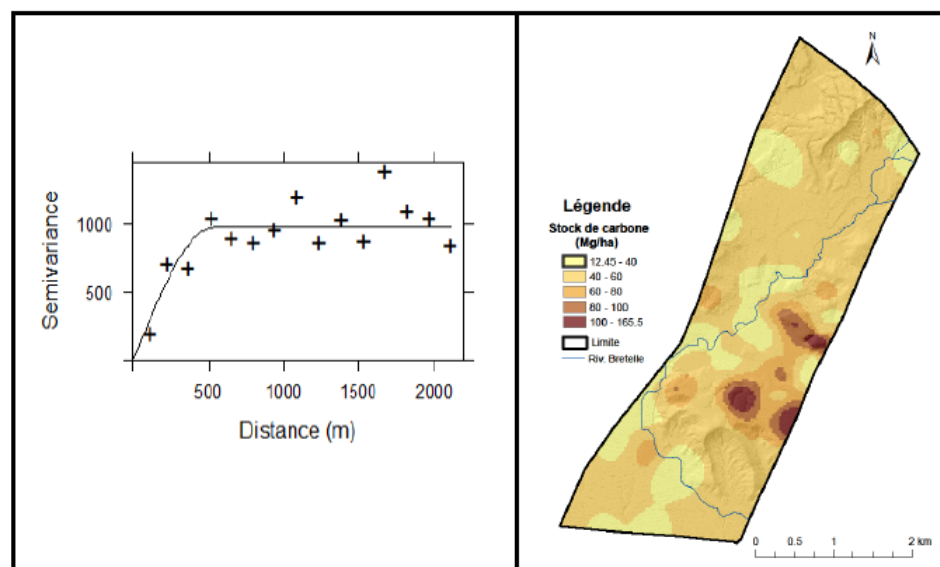


Figure 4. Semi-variogramme sphérique ajusté pour le COS (gauche) et stock de carbone (droite)

Tableau 3. Influence du type de sol, de la couverture et de l'utilisation des terres sur le stock de carbone organique du sol

Traitements	Stock de carbone (t/ha)
Classes de sol	
Typic Ustorthents	74,3 a
Lithic Calciustepts	63,8 ab
Lithic Ustorthents	52,2 abc
Typic Haplustepts	41,0 bc
Fluventic Haplustepts	31,3 c
Valeur-P	9.28e-06***
Classe de couverture et d'utilisation	
Bâtis	59,0 a
Sol nu	52,8 a
Végétation	49,4 a
Agriculture	32,4 a
Valeur-P	0,749076ns
COS x CUT	0,000585***

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil critique de 5 % ; ns : non significatif ; *** différence hautement significative au seuil critique de 1 %

COS x CUT : Interaction entre le carbone organique du sol et la couverture et l'utilisation des terres

l'autocorrélation spatiale des données a été détectée par le test I de Moran ou *Moran's I* (p-value=3.48186e-05), qui indique la présence d'une structure spatiale, nécessaire à l'utilisation de l'interpolateur krigeage. La carte de COS a été effectuée à partir de l'ajustement d'un modèle de semi-variogramme sphérique dont l'effet pépité est nul, la portée 534.8 m et le palier 969.8 (Figure 4).

L'interpolateur krigeage ordinaire a permis de spatialiser le stock de carbone, en adoptant une résolution spatiale de 30 m. Le modèle ainsi utilisé a été validé par la méthode de validation croisée pour laquelle le coefficient de détermination (R^2) entre les valeurs observées et prédites a été de 0.35 (p-value = 0.0028).

Relation entre le stock de carbone, les classes de sol et celles de la couverture et de l'utilisation des terres

L'analyse de variance associée au test de Tukey a révélé que la variabilité du stock de carbone du sol était influencée bien plus par le type de sol que par le mode d'utilisation

des terres dans la zone de l'étude (Tableau 3). Des différences statistiquement significatives ont été observées entre la classe de sol Fluventic Haplustepts et les deux classes Typic Ustorthents et Lithic Calciustepts, avec des valeurs respectives de 31,3, 74,3 et 63,8 t/ha. Les valeurs relativement faibles du stock de carbone associées aux Fluventic Haplustepts peuvent être dues aux intenses activités agricoles auxquels ces sols sont soumis. Par ailleurs, la faible stabilité des agrégats de ces sols est de nature à favoriser l'oxydation de la matière organique par son exposition. Wiesmeier *et al.* ont vérifié que les types de sol avaient, entre autres, une influence sur le stockage du carbone du sol (28).

Quant aux classes de couverture et d'utilisation des terres, aucune différence significative n'a été observée, contrairement à ce qui avait été rapporté dans les travaux de John *et al.* où il a été avancé que le stock de carbone était fonction du type d'utilisation et du travail du sol (12). Il y a lieu de souligner que la plus faible valeur du stock de carbone (32,4 t/ha) correspond à la classe agricul-

ture. A l'opposé, la plus forte valeur, (59,0 t/ha) a été trouvée pour la catégorie "bâti", la valeur pour la catégorie agriculture peut être due aux pratiques agricoles conventionnelles occasionnant l'oxydation de la matière organique du sol lors du labourage. Ces observations sont conformes à celles de Williams *et al.* qui ont montré que les activités agricoles contribuaient à la diminution du stock de carbone du sol (27). Les résultats ont également indiqué que l'effet combiné des classes de couverture, d'utilisation des terres et des types de sol ont un impact sur le stockage du carbone du sol.

Conclusion

Cette étude s'est basée sur une approche globale intégrant les techniques de géostatistique, du système d'information géographique et de la télédétection afin de cartographier le stock de carbone. Elle a également précisé les relations liant les types de sol et les modes d'utilisation des terres en vue de comprendre l'influence de ces facteurs sur la variabilité du stock de carbone du sol.

L'étude a montré que le stock de carbone était influencé par les types de sol, probablement en raison d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à ces derniers. Quant aux catégories "couverture et utilisation des terres", aucune différence significative n'a été observée pour les valeurs du stock de carbone, explicable par les perturbations anthropiques indifférenciées qui s'exercent sur les terres de la zone.

La technique de géostatistique s'est révélée adéquate dans la spatialisation du stock de carbone dans la zone de l'étude. Aussi, la méthode de l'apprentissage automatisé (*machine learning*) associé au classificateur *Random Forest* a été appropriée pour la cartographie de la couverture et de l'utilisation des terres.

D'autres études similaires pourront être conduites à plus grande échelle pour cartographier le stock de carbone du sol. Une telle démarche permettrait d'adopter des mesures ca-

pables de potentialiser la séquestration du carbone dans le sol et en même temps, minimiser les émissions du CO₂ dans l'atmosphère. Ces mesures peuvent inclure la pratique du zéro labour, l'utilisation de l'engrais vert et la couverture morte du sol, et le maintien d'un couvert végétal permanent dans les zones à forte déclivité.

Remerciements

Cette étude a été financée par l'USAID dans le cadre du Projet AREA (Feed the Future). Les auteurs voudraient remercier particulièrement l'Université de Floride ainsi que toute autre institution ayant contribué à sa réalisation.

Références bibliographiques

- Adhikari, K., Owens, P. R., Libohova, Z., Miller, D. M., Wills, S. A., & Nemecek, J. (2019). Assessing soil organic carbon stock of Wisconsin, USA and its fate under future land use and climate change. *Science of The Total Environment*, 667, 833-845.
- Andrade, F. V., Schaefer, C. E. G. R., Corrêa, M. L. T., & Mendonça, E. S. (2004). Carbon stocks in Brazilian latosols (oxisols) from different morphoclimatic regions and management systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 15-16, 2125-2136.
- Boix-Fayos, C., de Vente, J., Albaladejo, J., & Martínez-Mena, M. (2009). Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(1-2), 75-85.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., & Totterdell, I. J. (2000). erratum: Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(6813), 750.
- Craine, J.M., Gelderman, T.M. 2011. Soil moisture controls on temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition for a mesic grassland. *Soil Biol. Biochem.* 43, 455-457.
- Deb, S., Bhadoria, P. B. S., Mandal, B., Rakshit, A., & Singh, H. B. (2015). Soil organic carbon: Towards better soil health, productivity and climate change mitigation. *Clim Change Environ Sustain*, 3(1), 26-34.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858-1868.
- Elbasiouny, H., Abowaly, M., Abu Alkheir, A., & Gad, A. (2014). Spatial variation of soil carbon and nitrogen pools by using ordinary Kriging method in an area of north Nile Delta, Egypt. *Catena*, 113, 70-78.
- Holmes, K. W., Chadwick, O. A., Kyriakidis, P. C., de Filho, S., Eliomar, P., Soares, J. V., & Roberts, D. A. (2006). Large-area spatially explicit estimates of tropical soil carbon stocks and response to land-cover change. *Global Biogeochemical Cycles*, 20(3).
- Jeune, W. Espacialização da densidade do solo e do estoque de carbono da bacia Guapi-Macacu/RJ, determinados por meio de funções de pedotransferência (FTP's). 2012. 52f. Dissertacao (Mestrado em Agronomia- Ciencia do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropedica, RJ, 2012
- Jeune, W., Francelino, M. R., Souza, E. D., Fernandes Filho, E. I., & Rocha, G. C. (2018). Multinomial logistic regression and random forest classifiers in digital mapping of soil classes in western Haiti. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.
- John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., & Flessa, H. (2005). Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128(1-2), 63-79.
- Kimetu, J. M., Lehmann, J., Ngoze, S. O., Mugendi, D. N., Kinyangi, J. M., Riha, S., ... & Pell, A. N. (2008). Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, 11(5), 726.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627
- Lal, R. (2016). Beyond COP 21: potential and challenges of the "4 per Thousand" initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71 (1), 20A-25A.
- Lal, R., Follett, R. F., Stewart, B. A., & Kimble, J. M. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil science*, 172(12), 943-956.
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). Carbone organique du sol: Une richesse invisible.
- Libohova, Z., Wysocki, D., Schoeneberger, P., Reinsch, T., Kome, C., Rolfes, T., ... & Matos, M. (2017). Soils and climate of Cul de Sac Valley, Haiti: a soil water and geomorphology perspective. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(2), 91-101.
- Machado, Pedro L. O. de A. (2005). Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28(2), 329-334. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>.
- Mandal, B., Majumder, B., Bandyopadhyay, P. K., Hazra, G. C., Gangopadhyay, A., Samantaray, R. N., ... & Kundu, S. (2007). The potential of cropping systems and soil amendments for carbon sequestration in soils under long-term experiments in subtropical India. *Global change biology*, 13(2), 357-369.
- Mishra, U., Lal, R., Slater, B., Calhoun, F., Liu, D., & Van Meirvenne, M. (2009). Predicting soil organic carbon stock using profile depth distribution functions and ordinary kriging. *Soil Science Soci-*

- ety of America Journal, 73(2), 614-621.
22. Ostle, N. J., Levy, P. E., Evans, C. D., & Smith, P. (2009). UK land use and soil carbon sequestration. *Land Use Policy*, 26, S274-S283.
23. Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global change biology*, 6(3), 317-327.
24. Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2959-2971.
25. Scolforo, H. F., Scolforo, J. R. S., Mello, C. R., Mello, J. M., & Ferraz Filho, A. C. (2015). Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of savanna, Atlantic Forest and semi-arid woodland. *PloS one*, 10(6), e0128781.
26. Veldkamp, E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1), 175-180.
27. Williams, D. R., Phalan, B., Ferniuk, C., Green, R. E., & Balmford, A. (2018). Carbon storage and land-use strategies in agricultural landscapes across three continents. *Current Biology*, 28(15), 2500-2505.
28. Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Haug, S., Reischl, A., ... & Kögel-Knabner, I. (2012). Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology*, 18(7), 2233-2245.

Depuis de longues années, la FAMV n'a cessé d'accompagner la communauté dans sa quête de l'excellence.

Aujourd'hui encore, le **Laboratoire de Chimie de la FAMV** est heureux d'apprendre au public en général, aux industries agro-alimentaires, pharmaceutiques, aux organismes publics, privés, nationaux et internationaux que le renforcement de ses capacités d'analyse le rend encore plus apte à les servir avec sérieux, célérité et précision.

Nos compétences :

- Analyse des propriétés physico-chimiques de l'eau
- Détermination de la valeur alimentaire de produits naturels et transformés (confiture, mamba, miel, farines de céréales et de tubercules, ...)
- Contrôle de qualité des boissons alcoolisées : liqueur, rhum, clairin, ...
- Composition chimique des aliments pour bétail
- Détermination du degré de pureté de l'éthanol importé
- Analyse des aflatoxines dans les aliments
- Analyse des huiles essentielles destinées à l'exportation
- Analyse des produits pharmaceutiques, (matières premières et produits finis), etc.

Notre engagement envers vous : des analyses de qualité, respectueuses des normes internationales à des prix défiant toute concurrence. **Nous sommes là pour vous !**

Contactez-nous au numéro **2227-2277**