



## Spatialisation du stock de carbone organique du sol de la commune rurale de Kirtachi de la région de Tillabéry (Ouest du Niger)

IDRISSA Ali<sup>1\*</sup>, BOUBACAR Moussa Mamoudou<sup>2</sup>, BIGA Ibrahim<sup>1</sup>, SOUKARADJI Barmo<sup>1</sup>, ABDOU Amani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP 429 Niamey, Niger.

<sup>2</sup>Université de Diffa, BP. : 78 Diifa-Niger

\* Auteur correspondant : [alisto75@gmail.com](mailto:alisto75@gmail.com)

Submitted 25/07/2025, Published online on 30/09/2025 in the <https://www.m.elewa.org/Journals/journal-of-applied-biosciences> <https://doi.org/10.35759/JABs.212.2>

### RESUME

Les stocks mondiaux de carbone montrent que le sol est le deuxième plus grand réservoir. La séquestration du carbone joue donc un rôle clé dans la régulation du climat.

*Objectif* : L'objectif de cette étude est de spatialiser et de quantifier les stocks de carbone organique dans les sols de la commune rurale de Kirtachi à une profondeur de 0-40 cm en fonction des types de sols, de la texture et de l'occupation du sol.

*Méthodologie et résultats* : Après, un échantillonnage basé sur des unités d'occupations du sol, une base de données géoréférencées a été constituée à partir des données collectées. Les valeurs du stock de carbone organique (SCO) ont été calculées en effectuant le produit de la teneur en carbone (TC), de la densité apparente (Da) et de l'épaisseur (e) de la couche considérée. Une carte de stock de carbone a été élaborée à travers une interpolation Distance Inverse (IDW) avec le logiciel Arc Gis. À Kirtachi, les stocks de carbone organique du sol sont significativement plus élevés en brousse tigrée régulière ( $22,88 \pm 15,25$  t C/ha) qu'en brousse tigrée dégradée ( $18,11 \pm 11,2$  t C/ha) ou en formation arbustive sur roche ( $16,0 \pm 14,74$  t C/ha). Les valeurs sont intermédiaires dans le cordon ripicole ( $11,40 \pm 1,13$  t C/ha) et la savane ( $10,58 \pm 7,04$  t C/ha), reflétant un appauvrissement relatif dans ces milieux. Les stocks moyens de carbone organique du sol présentent aussi des variations significatives selon les types de sols. Les sols peu évolués enregistrent les teneurs les plus élevées ( $18,86 \pm 11,50$  t C/ha), devant les sols ferrugineux tropicaux ( $14,70 \pm 7,67$  t C/ha) et les sols hydromorphes ( $13,13 \pm 4,52$  t C/ha).

*Conclusion et application des résultats* : La cartographie révèle une forte variabilité spatiale des stocks carbone à Kirtachi, directement corrélée aux types de sol et aux modes d'occupation du territoire. L'analyse spatiale par SIG constitue ainsi un outil décisionnel pour modéliser l'évolution des stocks carbone et orienter les stratégies d'atténuation du changement climatique. Ces résultats permettront une utilisation rationnelle et parcimonieuse de la matière organique pour une production accrue des productions agricoles. Ils peuvent également servir de base pour la vente de crédits carbone qui est une source de revenu pour la préservation et la restauration des écosystèmes forestier Sahélien et soudano-sahélien.

**Mots clés** : Sols, Carbone, Stock, Spatialisation, Kirtachi

## Spatialization of the organic carbon stock of the soil of the farming township of Kirtachi in Tillabery region (West of Niger)

### ABSTRACT

Global estimates of carbon (C) stocks in various ecosystems highlight the importance of soil as the second largest carbon storage compartment. Carbon sequestration thus has a direct effect on climate regulation.

*Objective:* The objective of this study is to spatially map and quantify soil organic carbon stocks in the rural commune of Kirtachi at a depth of 0–40 cm, based on soil types, texture, and land use.

*Methodology and Results:* After sampling based on land use units, a georeferenced database was created using the collected data. The values of soil organic carbon (SOC) stock were calculated by multiplying the carbon content (CC), bulk density (BD), and thickness (e) of the soil layer considered. A carbon stock map was developed using Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation with ArcGIS software. In Kirtachi, soil organic carbon stocks are significantly higher in regular tiger bush ( $22.88 \pm 15.25$  t C/ha) than in degraded tiger bush ( $18.11 \pm 11.2$  t C/ha) or shrub formations on rocky ground ( $16.0 \pm 14.74$  t C/ha). Intermediate values were observed in riparian strips ( $11.40 \pm 1.13$  t C/ha) and savannahs ( $10.58 \pm 7.04$  t C/ha), reflecting a relative depletion in these environments. Average soil organic carbon stocks also vary significantly depending on soil types. Weakly developed soils recorded the highest values ( $18.86 \pm 11.50$  t C/ha), followed by tropical ferruginous soils ( $14.70 \pm 7.67$  t C/ha) and hydromorphic soils ( $13.13 \pm 4.52$  t C/ha).

*Conclusion and application of results:* The mapping reveals a strong spatial variability of carbon stocks in Kirtachi, directly correlated with soil types and land use patterns. Spatial analysis using GIS thus serves as a decision-making tool to model the evolution of carbon stocks and guide strategies for mitigating climate change. These results will enable the rational and economical use of organic matter to increase agricultural production. They can also serve as the foundation for selling carbon credits, providing a revenue source for preserving and restoring Sahelian and Sudano-Sahelian forest ecosystems.

**Keywords:** Soils, Carbon, Stock, Spatialization, Kirtachi.

### INTRODUCTION

Le changement climatique représente actuellement une crise environnementale majeur et les sols jouent un rôle prépondérant, particulièrement dans la régulation du cycle du carbone. Le carbone organique constitue un réservoir important dans le cycle global du carbone du sol. Schlesinger (1986) a estimé qu'il y avait environ trois fois plus de carbone dans le sol que dans la végétation. Au cours de ces dernières années, l'importance du carbone organique stocké dans les sols a été démontrée, et des recherches ont été effectuées pour mesurer ses variations sous différents modes d'occupation du sol afin de mieux comprendre leurs effets sur la composition de l'atmosphère

et sur les changements climatiques (Post *et al.*, 1982 ; Schlesinger, 1986 ; Eswaran *et al.*, 1993 ; Batjes, 1996). A l'échelle planétaire, le stock de carbone organique des sols est de l'ordre de 2400 gigatonnes (Gt), soit le triple de la quantité de carbone contenue sous forme de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (860 Gt). Le rapport entre les émissions anthropiques annuelles de C (9,4 Gt) et le stock de C des sols (2 400 Gt) est de l'ordre de 4‰, ce qui suggère qu'une augmentation de 4‰ par an du stock de C des sols permettrait théoriquement de compenser les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> (Minasny *et al.*, 2017). Selon les dernières estimations fournies par l'Atlas des sols d'Afrique (Jones

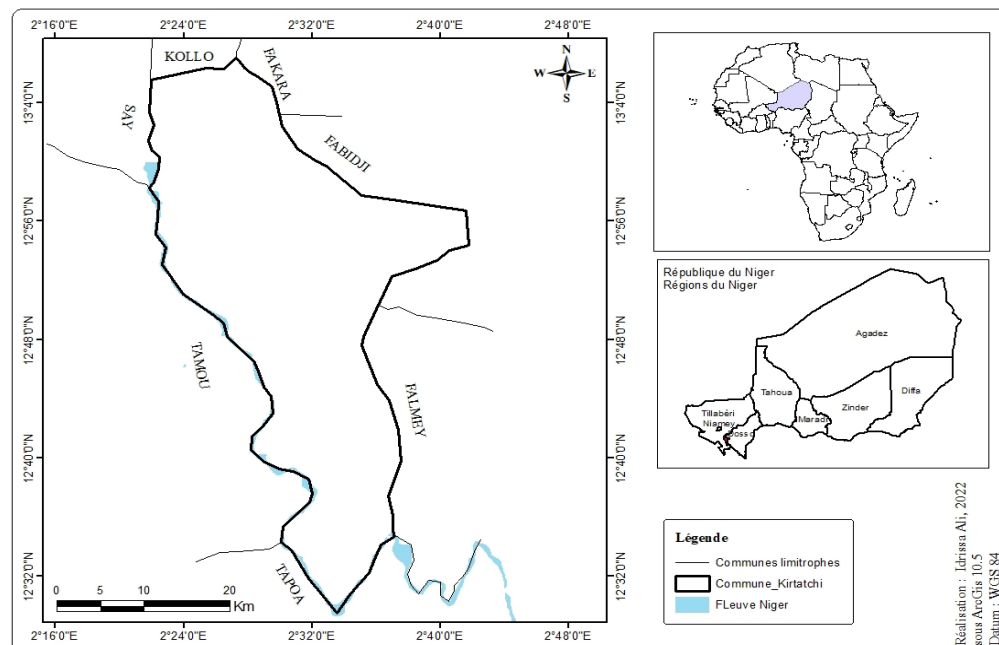
*et al.*, 2013), la couche superficielle (0-1 m) des sols de ce continent contiendrait 154,6 Gt de carbone, soit 10 à 12 % des stocks de carbone de la planète. La dynamique du carbone organique du sol (COS) est modulée par les échanges entre l'atmosphère, la pédosphère et la végétation (Nieder *et al.*, 2008). Les COS évoluent sous l'incidence de divers processus biologiques, physiques, ou chimiques. Par ailleurs, en Afrique de l'Ouest où environ 75% de la population active sont engagés dans l'agriculture (Sall, 2016). La hausse des températures, la réduction des réserves en eau, la perte de la biodiversité et la dégradation des terres contribuent à la désertification et ont un impact sur l'agriculture (Aronson *et al.*, 2016 ; Sultan *et al.*, 2017). La modification d'usage du sol entraîne des changements des stocks de carbone. La diminution du carbone dans les sols est beaucoup plus rapide que les processus d'accumulation. Une diminution, même faible, des teneurs en carbone ou en matière organique dans la couche arable d'un sol peut avoir des effets négatifs considérables sur ses propriétés comme la capacité de rétention en eau ou la teneur en éléments nutritifs et leur stockage (Sombroek *et al.*, 1993 ; Zhu *et al.*, 2016 ; Fukumasu *et al.*, 2022). Aussi, la gestion des sols est un facteur particulièrement important dans le cadre des politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et de sécurité alimentaire (FAO, 2015). En outre, les sols cultivés en Afrique de l'Ouest de texture sableuse et pauvres en matière organique (LOUM *et al.*, 2014). En effet, ces sols présentent des stocks de carbone (C) parmi les plus faibles comparés à d'autres régions géographiques du globe (Henry *et al.*, 2020 ; Scharlemann *et al.*, 2014). Plusieurs facteurs climatiques et anthropiques concourent à cet état de fait. Depuis 1990, environ 12 % des superficies forestières (soit 81,6 millions ha) ont été convertis en d'autres types d'usages des

sols en Afrique, dont environ 9 % en Afrique de l'Ouest (79 millions ha) (FAO, 2015). De plus, les terres connaissent des changements d'usage, telle la transformation de terres forestières en systèmes agricoles ou agroforestiers, et certaines terres agricoles subissent des changements de techniques agricoles. Toutes ces modifications sont susceptibles d'impacter les stocks de carbone des sols (Andriampiolazana *et al.*, 2020). Maintenir et augmenter les stocks de carbone dans le sol deviennent obligatoire car cela permet d'exploiter au mieux le potentiel du sol et de contribuer aux efforts visant à s'adapter au changement climatique et à en atténuer les effets. Au Niger, plusieurs mesures politiques ont été prises pour restreindre ou contrôler l'accès aux ressources forestières. De plus, des stratégies de restauration des terres sont adoptées par les communautés pour améliorer le statut organique des sols. Certaines stratégies prennent en compte la séquestration du carbone dans les sols à vocation agricole et sylvicole. La séquestration du carbone étant devenue un enjeu important dans l'atténuation aux changements climatiques (Brady *et al.*, ; GIEC, 2014), l'évaluation des stocks et l'estimation des flux revêtent par conséquent une grande importance dans notre compréhension de la dynamique du C et des changements climatiques. Des études se sont focalisées sur la composante aérienne (Amani *et al.* ; 2016 ; Massaoudou *et al.*, 2018 ; Salissou *et al.*, 2020) mais peu d'études se sont intéressées à la capacité de stockage du carbone du sol. Cette étude a pour objectif de combler cette lacune en visant à déterminer la quantité du carbone organique dans les sols de la commune rurale de Kirtachi sur une profondeur de 0–40 cm. Il s'agit spécifiquement de : (i) d'évaluer le stock de C organique dans le sol selon les principaux modes d'occupation du sol, (ii) d'élaborer la carte spatiale du stock de C du sol.

## MATERIEL ET METHODES

**Zone d'étude :** La commune rurale de Kirtachi est située à 75 km du département de Kollo située dans la région de Tillabéri. Elle est comprise entre les latitudes 12° 20' N et 13° 50' N et longitudes 02° 20' E et 2° 45' E (figure 1). Elle couvre une superficie de 1114 km<sup>2</sup>. Sa population est estimée selon la projection de 2021 à 54854 habitants dont 50,55% de femme et 49,45 d'homme (INS, 2022). Elle est limitée au nord par les communes rurales de Kouré et

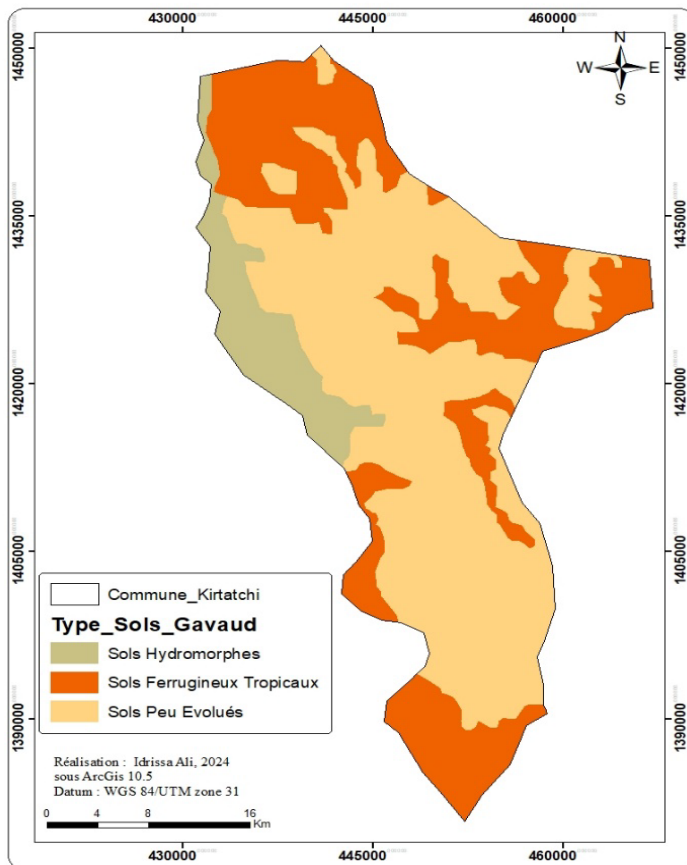
Fakara, au sud par le Parc régional du W Niger, à l'est par les communes rurales de Falmey et Fabidji, à l'ouest par la commune urbaine de Say et la commune rurale de Tamou. Elle est en grande partie située dans la réserve partielle de faune de Dosso et dans la zone de transition du plateau de Kouré et la rive gauche du fleuve Niger et correspond aux espaces les plus anthropisés.



**Figure 1 :** Localisation de la commune rurale de Kirtachi (Ali et al. 2023).

La commune rurale de Kirtachi couvre une superficie 38221 ha de formation forestière (brousse tigrée, savane, formation arbustive sur affleurement rocheux et cordon ripicole), soit 44% de l'occupation du sol. La commune est soumise à un climat de type sahélo-soudanien caractérisé par une longue saison sèche et une saison des pluies. La moyenne annuelle de la pluviométrie enregistrée de 1990 à 2023 s'élève à  $569,26 \pm 113,97$  mm et une température moyenne annuelle 46,29°C. La couverture pédologique de la zone d'étude regroupe trois grands types de sols : (i) les sols

peu évolués qui regroupent les sols peu évolués d'origine climatique et les sols peu évolués d'origine non climatique sur matériaux gravillonnaires ; (ii) les sols ferrugineux tropicaux qui sont essentiellement constitués de sols ferrugineux non ou peu lessivés sur sables, les sols ferrugineux lessivés à concrétions, les sols ferrugineux non ou peu lessivés associés à des sols ferrugineux ; (iii) Les sols hydromorphes de bas-fonds, mares, et cuvettes relativement plus riches en matières fertilisantes et plus aptes à des actions d'intensification (FAO, 2002) (Figure 2).

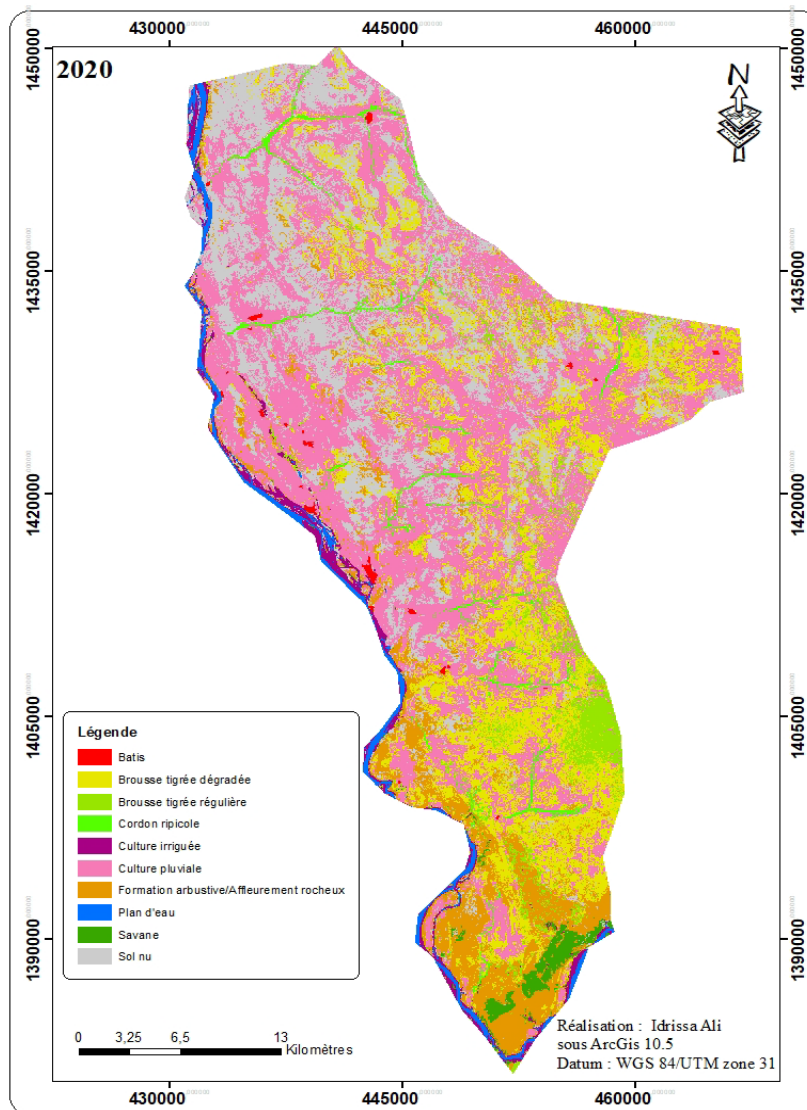


**Figure 2 :** Typologie des sols de la commune rurale de Kirtachi (Source : Gavaud *et al.*, 1967)

La commune regorge une importante ressource forestière ligneuse et herbacée. On rencontre principalement des formations de galeries forestières le long de la vallée du fleuve, autour des mares et le long des chenaux d'écoulement des Koris et sur les plateaux, les formations de brousse tigrée (régulière et dégradée). Les principales espèces ligneuses qu'on rencontre sont *Acacias nilotica*, *Acacia*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile en forte proportion et les combrétaceae (*Guiera senegalensis* J.F. Gmel., *Combretum micranthum* G. Don), *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Cassia sieberiana* DC. Les herbacées les plus rencontrées sont *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr., *Eragrostis tremula* (Lam.) Hochst. ex Steud. et *Cenchrus biflorus* Roxb. La commune est confrontée à une

véritable dégradation accélérée de son énorme potentiel de ressources naturelles de base sous l'action de la mise en œuvre des techniques d'exploitation sans restitution et peu conservatrice de ces ressources. C'est ainsi qu'on assiste à une dégradation du couvert végétal suivi de celle des sols soumis à toutes les formes d'érosion avec notamment la formation des glacis et l'ensablement des mares, des bas-fonds, et du fleuve. Les différentes unités d'occupation des sols de la commune sont : les zones occupées par les cultures pluviales, cultures irriguées, la brousse tigrée dégradée, la brousse tigrée régulière, les cordons ripicoles, la savane, les plans d'eau, les bâtis, les formations arbustives sur affleurements rocheux et les sols nus (Ali *et al.*, 2023) (Figure 3).





**Figure 3 :** Carte d'occupation des sols 2020 de la commune rurale de Kirtachi (Ali *et al.*, 2023).

**Prélèvement des échantillons de sol :** Les points de prélèvements ont été choisis de manière à ce qu'ils soient représentatifs de la zone d'étude en termes de distribution spatiale. Les échantillons de sols ont été collectés à 0–40 cm de profondeur à des points géoréférencés. Pour cette étude, le stock du carbone organique dans le sol est estimé, et le sol est le paramètre le plus important. L'échantillonnage a été fait sur la base des types de sol de la zone d'étude défini dans la carte de reconnaissance pédologique du Niger (Gavaud *et al.*, 1967) et la carte d'occupation

du sol (Ali *et al.*, 2023). Dix (10) profils ont été creusés et cinquante-trois (53) sondages ont été réalisés à la tarière sur la base des 2 critères (type de sol, et occupation du sol). Chaque unité de profil et de sondage a fait l'objet d'une description en prenant en compte la position topographique, le type de végétation, le type d'occupation du sol, l'état hydrique et la pente de son environnement immédiat. La description proprement dite du sol est faite selon la méthode de la FAO en procédant à la délimitation des différents horizons pour chacun des profils. Ainsi l'épaisseur, la

couleur, la texture, la structure, la consistance, la porosité, la transition entre les horizons et l'enracinement ont été déterminés pour chaque horizon. A chaque sondage, la structure et la texture ont été également déterminées. Le profil délimité sur une profondeur de 1,20 m et le sondage jusqu'à une profondeur de 1 m selon la nature du terrain. Au total, quatre-vingts (80) échantillons ont été prélevés, dont vingt-sept (27) dans les profils et cinquante-trois (53) échantillons composites ont été prélevés. Par ailleurs, des échantillons de sol humide ont été prélevés avec un cylindre dans chaque horizon de tous les profils pour évaluer la densité apparente.

**Détermination des caractéristiques physico-chimiques du sol :** Les échantillons des sols ont été examinés au Laboratoire d'Analyse de Sol, Eau et Végétaux (LASEV) à l'Institut national de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) de CERRA de Niamey. Les échantillons de sol obtenus sont séchés à la température ambiante (25° à 30°) pendant quarante-huit (48) heures puis tamisés sous maille de 2 mm. Les échantillons des sols ont subi des analyses physiques et chimiques suivant les normes de la FAO (1992). La détermination de la teneur en carbone organique du sol (COS) par la méthode de Walkley et Black qui est basée sur l'oxydation du carbone organique par le bichromate de potassium (Walkley et Black, 1934). Cette teneur en carbone organique a permis de déterminer le stock du carbone organique du sol de la zone d'étude. L'analyse granulométrie a été effectuée avec la méthode Bouyoucos. Grâce à cette analyse, les classes de la texture sont déterminées, la carte de la texture du sol est élaborée (répartition spatiale) et l'estimation du stock de carbone par classe de texture.

**Densité apparente (Da) :** La densité apparente (Da) a été mesurée par la méthode des cylindres. A l'aide d'un cylindre de volume (V) connu (110 centimètres cube), un échantillon de sol humide a été prélevé sur tous

les horizons des profils. Au laboratoire, le sol de chaque cylindre a été récupéré et séché à l'étuve à 105°C pendant chaque 24 h. Une série de pesées a été faite pour connaître le poids (P) de l'échantillon à l'état sec. La densité est ensuite déterminée par la formule :

$$Da = P/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Avec P : Poids sec du sol en g ; V du cylindre =  $3,14 \times h \times r^2$  ; h = Profondeur de l'échantillonnage et r = rayon de la base du cylindre (Blake *et al.*, 1986 ; Atchada *et al.*, 2018). V du cylindre = 110 cm<sup>3</sup>

Pour les échantillons issus des sondages, une estimation a été faite à partir des valeurs calculées des échantillons issus des profils pour un même type de sol donné.

**Détermination du stock de carbone organique du sol (SCO) :** Le stock de carbone organique des sols (T C. ha<sup>-1</sup>) a été calculé sur la base de la teneur en carbone (TC en g .kg<sup>-1</sup> de sol), de la densité apparente (Da) en g .cm<sup>-3</sup>) et de l'épaisseur (e) en cm de l'horizon (Ungaro *et al.*, 2010 ; Adhikari *et al.*, 2014 ; Harbo *et al.*, 2022). Il a été réalisé sur une couche de sol de 0 à 40 cm, en additionnant les horizons si le premier fait moins de 40 cm. La fraction minérale supérieure à 2 mm (éléments grossiers), supposée dépourvue de C, n'a pas été retranchée du stock de l'horizon car cette donnée était rarement présente dans les études considérées. Le Stock de Carbone Organique (SCO) du sol sur 0-40 cm a été calculé pour 63 observations (profils et sondages). La formule suivante a été utilisée :

$$SCO = TC * Da * e * 0,1.$$

C : teneur en carbone (g.kg<sup>-1</sup>) ; Da : densité apparente (g.cm<sup>-3</sup>) ; e : épaisseur de la couche (cm) ; et 0,1 est une constante pour ajuster les unités, DA=P/V P : poids sec de l'échantillon (g) V : volume de l'échantillon (m<sup>3</sup>) (Solène, 2017).

Les stocks ainsi calculés ont été intégrés dans un SIG afin de les spatialiser pour obtenir la carte de répartition par classe du stock de carbone organique du sol. Puis les résultats d'analyse du sol au laboratoire et leur

spatialisation ont permis de calculer la superficie et la proportion de chaque élément textural.

**Interpolation spatiale :** Parmi les nombreuses méthodes d'interpolation disponibles, il est important de choisir celle qui convient le mieux aux données à interpoler et au logiciel SIG utilisé. Le choix de la méthode d'interpolation peut avoir un impact significatif sur le stock de COS estimé et les schémas spatiaux, ce qui affecte à son tour les décisions de gestion et les évaluations du cycle du carbone (Tang *et al.*, 2017 ; Tiruneh *et al.*, 2024). L'interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) est couramment utilisée par plusieurs auteurs (Tang *et al.*, 2017 ; Schloeder *et al.*, 2001). L'IDW a été appliquée en faisant varier la valeur du paramètre de puissance à 2 ; 2,5 et 3. Les données de teneur de carbone du sol disponibles sont divisées en deux lots : un lot de calibration pour la construction du modèle et un lot de validation pour l'évaluation de sa

performance. Sur les 63 points, 48 ont été utilisés pour l'interpolation et les 15 points restants ont servi à tester la méthode d'interpolation.

**Cartes utilisées :** La carte pédologique de reconnaissance de Gavaud *et al.*, 1967, à l'échelle 1/5 00 000 produite par le service cartographique de l'ORSTOM, digitalisée sous Arc Gis 10.5. Les plages cartographiques des sols représentent des grands types de sols de la zone d'étude (sols peu évolués, sols ferrugineux tropicaux et sols hydromorphes). Puis, la carte de l'occupation du sol réalisée à l'aide d'image sentinelle de 2020 (résolution au sol de 10 mètres), intégrée dans un SIG et simplifiée (Ali *et al.*, 2023). Dix (10) classes d'occupation du sol ont été identifiées à savoir : Brousse tigrée régulière, Brousse tigrée dégradée, Cordon ripicole, Cultures pluviales, Cultures irriguée, Sol nu, Savane, Formation arbustive sur affleurement, Plan d'eau et Bâtis.

## RESULTATS

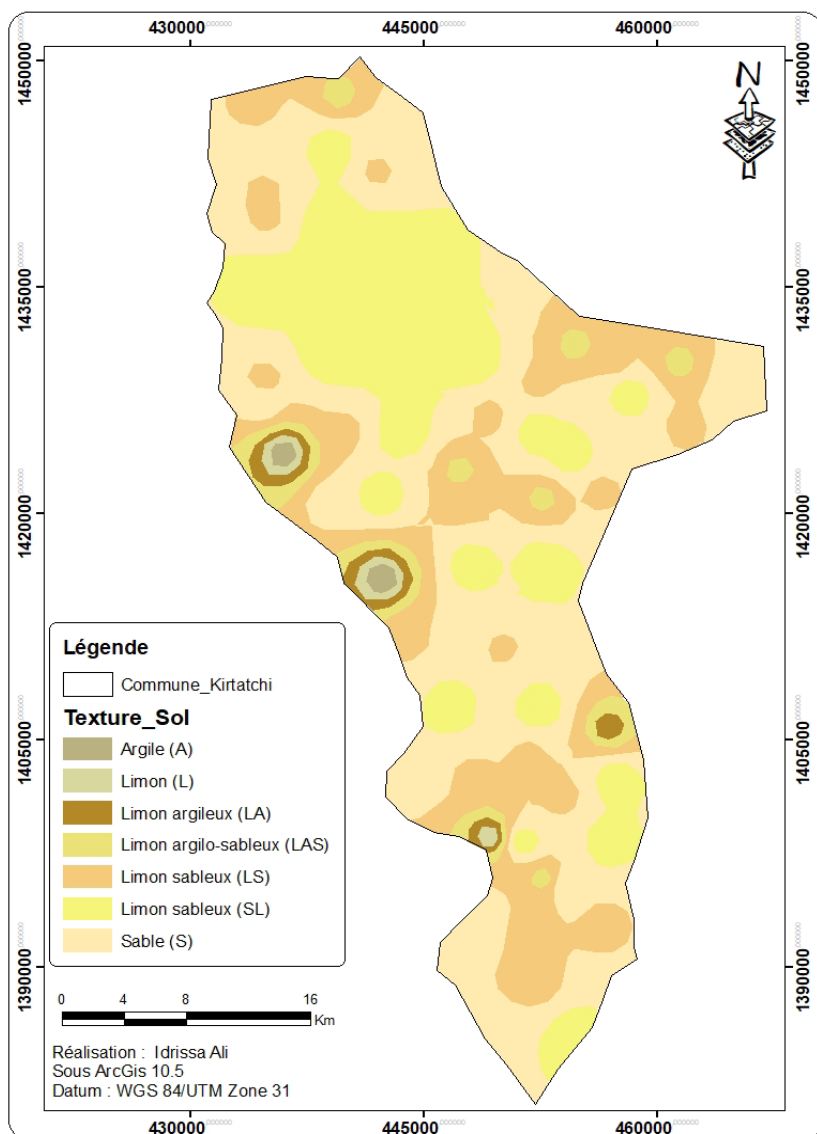
**Analyse spatiale de la texture du sol en lien avec le stock de carbone du sol :** La texture du sol de la zone d'étude présente une forte variabilité spatiale selon les superficies couvertes (Tableau 2). La texture dominante est sableuse, avec les classes Sable (S : 45,14%), Sable limoneux (SL : 25,72%) et Limon sableux (LS : 22,69%) représentant 93,55% de la superficie totale. Les textures fines (Argile, Limon, Limon argileux) sont marginales ( $\leq 1,51\%$ ), tandis que les textures intermédiaires (Limon argilo-sableux) couvrent 3,71%. Il ressort que 98,5% des sols contiennent du sable, et seulement 2,75% ont

une teneur significative en argile. Les sols à texture équilibrée (mixte) présentent les meilleures capacités de stockage de carbone, avec des stocks moyens particulièrement élevés pour les limons argilo-sableux (22,47 t/ha) et les limons sableux (20,64 t/ha), tandis que les limons argileux maintiennent un niveau modéré (8,55 t/ha). À l'inverse, les sols limoneux (2,90 t/ha) et argileux (5,70 t/ha) montrent des performances faibles. Les sols sableux (12,18 t/ha) et sableux limoneux (13,64 t/ha) se situent dans une fourchette intermédiaire.



**Tableau 1 :** Textures du sol en lien avec le stock de carbone du sol de la zone d'étude

Texture	Superficie		Stock de carbone		
	(ha)	%	Moyenne (t/ha)	Médiane	Ecart type
Argile	488,27	0,44	5,70	5,70	2,12
Limon	884,16	0,79	2,90	2,90	0,42
Limon argileux	1676,63	1,51	8,55	8,55	0,21
Limon argilo-sableux	4135,20	3,71	22,47	17,65	13,28
Limon sableux	25271,69	22,69	20,64	18,30	8,93
Sable	50284,52	45,14	12,18	11,60	8,42
Sable limoneux	28644,38	25,72	13,64	14,70	9,38



**Figure 4 :** Carte de la texture du sol de la commune de Kirtachi

**Stock de carbone du sol selon les types de sol :** Les valeurs de stock de carbone du sol varient significativement selon les types de sols (Tableau 3). Les sols peu évolués présentent le stock de carbone moyen le plus élevé (17,86 t C/ha), mais aussi la plus grande variabilité (écart-type = 11,5 ; CV = 64,4 %).

Les sols ferrugineux tropicaux affichent des valeurs intermédiaires (14,7 t C/ha) avec une dispersion modérée (CV = 52,2 %), tandis que les sols hydromorphes ont le stock moyen le plus faible (13,13 t C/ha) mais aussi la plus faible variabilité (CV = 34,5 %).

**Tableau 2 :** Stocks de carbone du sol par type de sols

Type de sol	Stock de carbone			
	Moyenne (t C/ha)	Médiane	Ecart type	Coéf de Variation
Sols Peu Evolués	17,86	16,8	11,5	64,39
Sols Ferrugineux Tropicaux	14,7	13,5	7,68	52,22
Sols hydromorphes	13,13	7,2	4,52	34,45

**Stock de carbone selon les unités d'occupation du sol :** Le tableau 4 montre une variabilité du stock de carbone selon les unités d'occupation du sol (Tableau 4). Les brousses tigrées présentent les stocks de carbone les plus élevés, avec une moyenne de 21,00 t C/ha pour la brousse tigrée régulière et 18,11 t C/ha pour la version dégradée, malgré une forte variabilité (écart-types >11). Ces écosystèmes semblent jouer un rôle clé dans le stockage du carbone, même dans un état dégradé. Les formations arbustives sur affleurements

rocheux (16,00 t C/ha) et les sols nus (17,00 t C/ha) montrent également des stocks relativement élevés mais avec une grande dispersion des valeurs. À l'inverse, les savanes (10,58 t C/ha) et les cultures pluviales (12,00 t C/ha) présentent les stocks moyens les plus faibles, suggérant que l'activité agricole et certains écosystèmes ouverts limitent l'accumulation de carbone. Le cordon ripicole, bien qu'avec un stock moyen modéré (13,34 t C/ha), montre une faible variabilité.

**Tableau 3 :** Stocks de carbone du sol par type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Stock de carbone			
	Moyenne (t C ha)	Médiane	Ecart type	Total (t C)
Brousse tigrée dégradée	18,11	17,8	11,20	373120
Brousse tigrée régulière	21,00	19,5	13,85	89334
Formation arbustive sur affleurement rocheux	16,00	14,4	14,74	164304
Cordon ripicole	13,34	9	2,40	24746
Savane	10,58	9,2	7,04	13087
Sols nus	17,00	15,75	9,38	421821
Cultures pluviales	12,00	13,5	8,00	525084

**Répartition spatiale du stock de carbone organique du sol :** L'échantillon (n=63) révèle un stock moyen de carbone de  $15,91 \pm 1,28$  t C/ha (erreur-type), mais avec une forte variabilité (écart-type de 10,13 t C/ha)

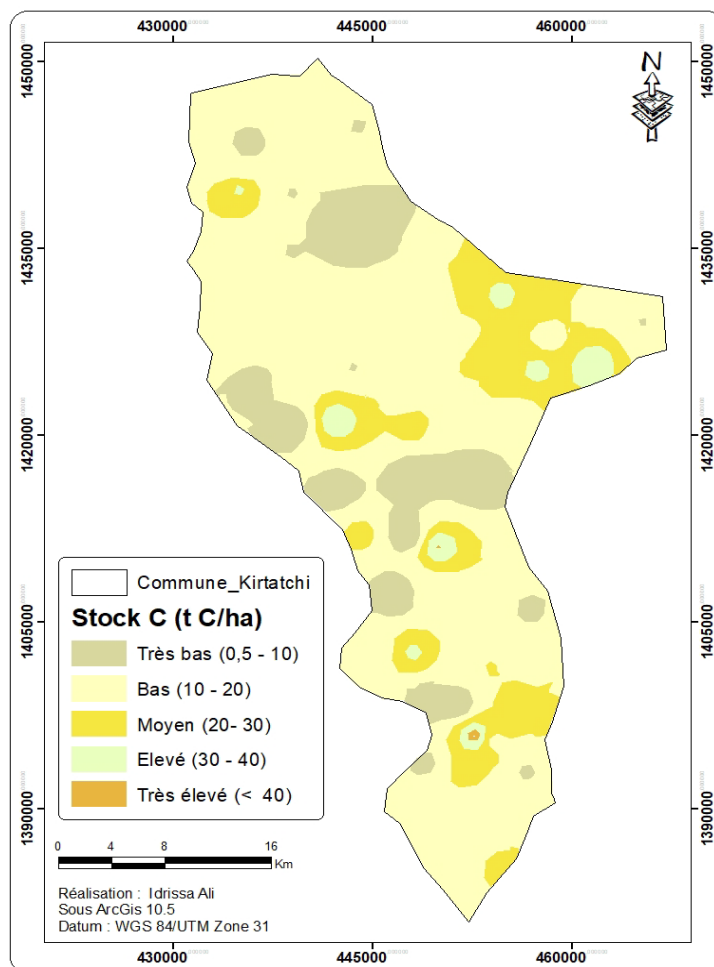
indiquant une distribution hétérogène. Les valeurs extrêmes (0,5 à 44,1 t C/ha) montrent une forte amplitude avec un écart type très élevé.

**Tableau 4:** Paramètres statistiques de stock de carbone

Paramètres statistiques	Stock C (t/ha)
Taille de l'échantillon	63
Moyenne	15,91
Erreur type de la moyenne	1,28
Ecart type	10,13
Minimum	0,5
Maximum	44,1

La carte de stock de carbone obtenue par IDW montre de façon plus claire la répartition par classe de carbone du sol dans la zone d'étude (Figure X). Ces résultats révèlent une dominance des sols à faible stock de carbone, avec 66,93% de la superficie (74 548 ha) dans la classe "Bas" (10-20 t C/ha) et 14,71% (16 383 ha) en classe "Très bas" (0,5-10 t C/ha).

80% des sols ont une teneur en carbone inférieure à 20 t/ha. Cependant, les stocks moyens à élevés (20-40 t C/ha) ne représentent que 18,35% de la superficie, avec seulement 2,43% (2 712 ha) en classe "Élevé" (30-40 t C/ha) et une portion négligeable (0,06%, 72 ha) en classe "Très élevé" (>40 t C/ha).



**Figure 5 :** Stocks de carbone organique à 40 cm du sol de la commune rurale de Kirtachi.

## DISCUSSION

L'estimation de la capacité de stocks en carbone organique du sol dans la commune rurale de Kirtachi révèle que les stocks en carbone organique du sol varient en fonction des types de sol, des types de formation végétale et des types d'occupation du sol. Ces résultats s'accordent avec ceux de la FAO (2002) qui a conclu que les écosystèmes forestiers contiennent plus de carbone par unité de surface que tout autre type d'utilisation du sol. Les valeurs du stock de carbone dans la zone d'étude sur une profondeur de 40 cm varient de 0,5 à 44,1 t C/ha avec une moyenne de  $15,9 \pm 10,1$  t C/ha. La valeur de stock de C obtenue (15,9 t C/ha) a été du même ordre de grandeur que celle obtenue (15,4 Mg C/ha) dans la zone de parcours désertiques et buissonnants selon la classification de Henry (2009) et celle trouvée par Woomer (2004) (17,2 Mg C/ha). Ceci pourrait être dû aux disparités du nombre de profils selon leur localisation géographique et de l'usage de ces sols (forêt, agriculture ou parcours) (Chevallier *et al.*, 2020).

**Stock de carbone du sol dans la texture du sol :** L'élaboration de la carte de la texture du sol a permis de spatialiser les différents types de texture, à déterminer la superficie de chaque texture et le stock de carbone lié à chaque texture du sol de la zone d'étude. Les analyses montrent que 98,5% des sols contiennent du sable, et seulement 2,75% ont une teneur significative en argile. Les résultats ressortent que les sols à texture équilibrée (mixte) présentent les meilleures capacités de stockage de carbone, avec des stocks moyens particulièrement élevés pour les limons argilo-sableux (22,47 t/ha) et les limons sableux (20,64 t/ha). Les sableux limoneux (13,64 t/ha) se situent dans une fourchette intermédiaire, tandis que les limons argileux maintiennent un niveau modéré (8,55 t/ha). Par ailleurs, les sols limoneux (2,90 t/ha) et argileux (5,70 t/ha) montrent des performances faibles en stock carbone. Les sols sableux (12,18 t/ha) se

maintiennent dans une fourchette intermédiaire.

**Stock de carbone du sol dans les types de sol :** La digitalisation de la carte de reconnaissance des sols (Gavaud *et al.*, 1967) a permis de ressortir les grands types de sol de la zone d'étude. Les résultats montrent que les valeurs moyennes de carbone organique les plus élevées se trouvent au niveau des SPE avec 18 t C/ha et un stock de 1122263 tonnes de carbone. Cela est dû aux apports, car ce sont des sols peu évolués d'apport et des sols agricoles en général. Les usages des sols et les pratiques agricoles qui augmentent les apports organiques sont ceux qui permettent un stockage de carbone additionnel (Fujisaki *et al.*, 2018). Les SFT et SH ont respectivement 15 t C/ha et 13 t C/ha avec 557627 et 139399 tonnes. Avec un coefficient de variation des SFT qui reste élevé de l'ordre de 52%. Volkoff (1999) a trouvé des valeurs de coefficient de variation élevées à 0-50 cm sur les sols ferrugineux au Bénin. Selon Andriampiolazana *et al.* (2020) à Madagascar, les sols hydromorphes ont aussi des stocks élevés, particulièrement en surface (0-30 cm) et même sous des cultures conventionnelles. Les forêts artificielles et les forêts sèches des sols ferrugineux présentent un stock de carbone du sol assez important sur 0-30 cm. Divers paramètres, tels que les hétérogénéités de la couverture pédologique et des modes d'usage des terres, influencent la variabilité spatiale des stocks de COS (Lagacherie *et al.*, 2013 ; Rakotomampionona, 2013).

**Stock de carbone du sol dans les formations végétales :** Les valeurs de carbone moyennes associées aux cinq types de formations végétales pour la zone d'étude varient selon le type formation végétale. Ces formations couvrent 34% de la commune. Les zones de cultures (cultures pluviales et irriguées), les plans d'eau, les sols nus et bâtis occupent le reste. Les résultats montrent que les valeurs moyennes de carbone organiques les plus

élevées se trouvent au niveau de la brousse tigrée régulière (BTR) avec 21 t C/ha, avec une superficie de 4254 ha (soit 4%) avec un stock de carbone de 89334 tonnes. La savane (Sav) avec la plus petite superficie (1237 ha) avec 11 t C/ha et un stock de 13087 tonnes de carbone. Selon Mohamed et al. (2020), des études similaires réalisées dans des forêts tempérées non dégradées ont évalué des stocks de COS bien plus élevés. Les sols recouverts de végétation herbacées contribuent à environ la moitié du stock de COS, alors que les zones boisées ou avec une végétation arbustive en représentent environ un quart.

**Stock de carbone du sol dans les zones de cultures :** Les valeurs moyennes de carbone associées aux sols nus et cultures pluviales de la zone d'étude varient en fonction du type d'occupation. Ces types d'occupation du sol couvrent 61,56% de la commune avec une moyenne pondérée de 13,81 t C/ha, les zones de cultures (cultures pluviales), occupent 43757 ha (39,28%) avec 12 t C/ha soit 525084 t C. Les résultats montrent que les valeurs moyennes de carbone organiques les plus élevées se trouvent au niveau des sols nus avec 17 t C/ha soit 421821 t C, avec une superficie de 24813 ha (22,28%). Le stock de COS suit un gradient de végétation avec les plus forts

taux dans les formations naturelles et les plus faibles dans les sols nus. C'est ainsi que la classe de 10–20 t C/ha représente plus de 65% avec une superficie de 74548 et la classe de 20–30 t C/ha du stock du carbone occupe 15% avec une superficie de 17670 t C/ha. La classe de stock de carbone supérieure à 40 (> 40) t C/ha a une proportion très faible de 0,06% avec 72 ha, elle est présente uniquement dans les sols peu évolués (SPE). Les classes de 0,5–10 et 30–40 t C/ha présentent respectivement 14,71% et 2,43% avec des superficies de 16383 ha et 2712 ha. Les cultures, les arbres et les arbustes présentes sont en mesure d'accroître les stocks de COS grâce aux apports de biomasse aérienne et racinaire. Dans un système intégrant agriculture et élevage suivi pendant cinq ans (1997-2002) en Casamance, Manlay et al. (2004) ont montré que le bétail, les récoltes, le bois et la paille sont respectivement responsables de 83 %, 15 % et 2 % des apports de carbone dans les sols. Toutefois, les déjections animales issues de la vaine pâture et de l'élevage transhumant sont aussi des sources d'émissions de gaz à effet de serre qu'il conviendrait de quantifier lors d'un bilan global de la séquestration du carbone.

## CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Une évaluation détaillée du potentiel des sols à stocker le carbone organique n'est pas possible aujourd'hui en raison du manque d'informations sur les sols à l'échelle nationale. L'estimation de stocks de carbone du sol présentée dans cette étude constitue la première évaluation du stock de carbone organique de la commune rurale de Kirtachi. La méthode utilisée a permis l'estimation et la spatialisation des stocks de C sur de grandes ensembles géographiques (les formations végétales, l'occupation des sols, les types de sols), en tenant compte des différents modes d'occupation du sol. Le stock de carbone organique du sol a significativement varié

suivant la profondeur avec un fort stock de carbone entre 0-40 cm. La moyenne du stock de C trouvée pour les 63 échantillons prélevés est de 15,9 t C/ha, avec un stock total de 946905 t C pour les sols nus et les zones de cultures et 664591 t C dans les formations végétales. Ainsi, les types de sols couvrant une superficie de 111835 ha (soit celle de la commune) a un stock total de 1819289 t C. Le travail a permis d'avoir des connaissances sur la distribution des stocks de C et de fournir des valeurs de références pour les sols de Kirtachi. Il est toutefois nécessaire de veiller à ce que ces sols continuent d'être protégés afin d'éviter une perte future de CO<sub>2</sub>. Ces résultats permettront



une utilisation rationnelle et parcimonieuse de la matière organique pour une production accrue des productions agricoles. Ils peuvent servir aussi de base pour la vente de crédits

## REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et le Projet

carbone qui est une source de revenu pour la préservation et la restauration des écosystèmes forestier Sahélien et soudano-sahélien.

site pilote phase 2 (GCCA+) qui ont permis à collecter les données sur le terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

- A. AMANI, “ Croissance et potentiel de séquestration de carbone de quatre espèces de Combretaceae en zones sahélienne et nord-soudanienne au Niger (Afrique de l’Ouest) ”, Thèse de doctorat : Faculté des Sciences et Techniques de l’Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger), (2016) 222 p.
- A. Jones, H. Breuning-Madsen, M. Brossard, A. Dampha, J. Deckers, O. Dewitte, Soil Atlas of Africa. Luxembourg, European Commission, Publications Office of the European Union, 176 p, 2013.
- A. Walkley, A. Black, An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method, *Science*, 37 : 29-38, 1934.
- Adhikari, K., Hartemink, A. E., Bou Kheir, R., Minasny, B., Greve, M. H., & Greve, M. B. (2014). Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. *PLoS ONE*, 9(8), e105519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105519>
- B. Denis, Guide des analyses en pédologie 3e édition revue et augmentée. [Editions Quae](#). 339 pp. 2018.
- B. Minasny, B.P. Malone, A.B. McBratney, D.A. Angers, D. Arrouays, *et al.*, Soil carbon 4 per mille, *Geoderma*, 292: 59-86, 2017.
- B. Sultan, R. Lalou, S.M. Amadou, A. Oumarou, M.A. Soumaré, S. Janicot, Les sociétés rurales africaines face aux changements climatiques et environnementaux, CSFD/ Agropolis International, France, 2017.
- B. Volkoff, P. Faure, D. Dubroeuq, M. Viennot, Estimation des stocks de carbone des sols du Bénin. Etude et gestion des sols, 6(2), 115-130, (1999).
- C. C. Atchada, A. G. Zoffoun, T. M. Akplo, A. H. Azontonde, A. B. Tente, J. G. Djego Modes d’utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol 12, Number 5, Pp 2818-2829, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.27>
- C. Peng, J. Liu, M. Apps, Q. Dang, W. Kurz, Quantifying Ontario’s forest carbon budget 1, Carbon stock and flux of forest ecosystems in 1990, *For. Res. Rep.*, 158, 123-137, 2000.
- C.E.P. Cerri, M. Easter, K. Paustian, K. Killian, K. Coleman, M. Bernoux, P. Falloon, D.S Powlson, N. Batjes, E. Milne, C.C Cerri, Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the brazilian amazon with RothC and centry models, *Agr. Ecosyst. Environ.*, 1, 1-12, 2007.
- Eswaran, Van Den Berg, Reich, Organic carbon in soils of the world 1993. *Soil*

- Science Society of America Journal 57: 192-194.  
[https://nature.berkeley.edu/classes/espm-120/Website/Eswaran \(1993\).](https://nature.berkeley.edu/classes/espm-120/Website/Eswaran (1993).)
- FAO 2002. Rapport sur les ressources en sols du monde. 268 p.
- FAO, The Global Forest Resources Assessment, How are the world's forests changing? Rome, 2015.  
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i4793e>.
- Fukumasu, J., Kätterer, T., Larsbo, M., Jarvis, N., & Koestel, J. (2022). Relations between soil organic carbon content and the pore size distribution for an arable topsoil with large variations in soil properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1).  
<https://doi.org/10.1111/ejss.13212>
- G.R. Blake, K.H. Hartge, Methods of Soil Analysis, Part 1, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA: 363-376, 1986.
- GIEC, Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2014.
- Harbo, L. S., Olesen, J. E., Liang, Z., Christensen, B. T., & Elsgaard, L. (2022). Estimating organic carbon stocks of mineral soils in Denmark: Impact of bulk density and content of rock fragments. *Geoderma Regional*, 30, e00560.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00560>
- I. Ali, A. Amani, S. Barmo, B. Ibrahim, M. Ali, Analyse spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la commune de Kirtachi au sud-ouest du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(3) : 1033-1047, 2023.
- INS, Projection de la Population en 2021, 2022.
- IPCC, Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge University Press 377 pp, 2000.
- J. Aronson, I. Amsallem, M. Bernoux, M. Bied-Charreton, B. Bonnet, L. Bourziq, M.Requier-Desjardins, La neutralité en termes de dégradation des terres (Doctoral dissertation, CSFD), 2016.  
<https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4111.8327>
- J. Evans, I.J. Fernandez, L.E. Rustad, S.A. Norton, Methods for evaluating fractions in forest soil, *Techn. Bull.*, 178, 1-44, 2001.
- J.P. Scharlemann, E.V. Tanner, R. Hiederer, V. Kapos, Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Manag.* 5, 81-91.  
<https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>. 2014.
- K. Fujisaki, T. Chevallier, L. Chapuis-Lardy, A. Albrecht, T. Razafimbelo, D. Masse, Y. B. Ndour, J.-L. Chotte, Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 259 : 147-158, 2018.
- Lagacherie P., Arrouays D., Walter C., 2013. Cartographie numérique des sols : principe, mise en œuvre et potentialités. *Étude et gestion des sols*, 20 (1) : 83-98.
- LOUM M., VIAUD V., FOUAD Y., NICOLAS H., WALTER C., 2014 Retrospective and prospective dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 100-101 : 100-105.
- M. Andriampiolazana, H. Razakamanarivo, A. Albrecht, M. Andriamihaja, R. Andrianaly, Stocks de carbone dans les éco-et agrosystèmes à Madagascar:

- capitalisation des études récentes. Carbone des sols en Afrique: impacts des usages et des pratiques agricoles, 137-155, 2020.
- M. Gavaud, R. Boulet, Carte pédologique de la reconnaissance de la république du Niger. Services cartographiques de l'ORSTOM, 1967.
- M. Henry, M. Belem, R. D'Annunzio, M. Bernoux, Les stocks de carbone des sols d'Afrique de l'Ouest, in : T. Chevallier, (ed.), T.M. Razafimbelo, (ed.), L. Chapuis Lardy, (ed.), M. Brossard, (ed.) (Eds.), Carbone Des Sols En Afrique : Impacts Des Usages Des Sols et Des Pratiques Agricoles, Synthèses, FAO, pp. 35–56, 2020.
- M. Henry, R. Valentini, M. Bernoux, Soil carbon stocks in ecoregions of Africa. Biogeosci. Discuss., 6 (1): 797-823, doi: 10. 519 4 / b gd - 6 -797-20 0 9, 2009.
- M. Massaoudou, M. Larwanou. "Allometric models for estimating aboveground biomass and carbon in *Faidherbia albida* and *Prosopis africana* under agroforestry parklands in drylands of Niger", journal of Forestry Research, 29 (6) (2018) 1703 – 1717
- M. Sall, Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques: stratégies développées et assurances agricoles (Doctorat). Université Toulouse le Mirail-Toulouse II, Toulouse. 2016.
- Manlay R. J., Ickowicz A., Masse D., Feller C., Richard D. 2004 Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna-II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. Agricultural Systems, 79 (1) : 83-107.
- N.C. Brady, R.R. Weil,"The nature and properties of soils" 14th ed. Prentice-Hall, London. 2007.
- N.H. Batjes, Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European J. Soil Sci., 47, 151-163, 1996.
- P. L. Woomer, A. Touré, M. Sall, Stocks de carbone dans la zone de transition du Sahel au Sénégal. Journal des environnements arides, 59, 499-510, 2004.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.027>
- PDC, Plan de Développement Communal de la commune rurale de kirtachi, 2012.
- Q. Solène, Evaluation des stocks de carbone des sols agricoles réunionnais par spectroscopie moyen infrarouge (MIR), mesures in situ et construction de modèles de prédictions. Nancy : Université de Lorraine, Mémoire de fin d'étude : Sciences et génie de l'environnement : Université de Lorraine, 42 p. 2017.
- R. Nieder, D.K. Benbi, Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment, Springer, New York. 2008.
- Rakotomampionona N. A. A., 2013. Évaluation des stocks de carbone et d'azote du sol sous des pratiques agro-écologiques et conventionnelles dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra. Mémoire de fin d'étude, université d'Antananarivo, Madagascar. 93 p.
- S. Mohamed, S. René, T. Quinette, Z. Hafida, B. Hassan, Évaluation des stocks de carbone organique dans les sols au Maroc. Carbone des sols en Afrique, édité par Tiphaine Chevallier et al., IRD Éditions, FAO, 2020. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.34902>.
- Schloeder, C. A., Zimmerman, N. E., & Jacobs, M. J. (2001). Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 470–479.

- <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652470x>
- T. Chevallier, T. M. Razafimbelo, L. Chapuis-Lardy, M. Brossard, Carbone des sols en Afrique (1-), IRD Éditions, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.34867>.
- Tang, X., Pérez-Cruzado, C., Fan, S., Guan, F., & Xia, M. (2017). Spatial distribution of soil organic carbon stock in Moso bamboo forests in subtropical China. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep42640>
- Tirunch, G. A., Reichert, J. M., Mumtaz, M., & Hanjagi, A. (2024). Prediction, mapping, and implication for better soil organic carbon management in Ethiopia. *Soil Science Society of America Journal*, 88(3), 753–763. <https://doi.org/10.1002/saj2.20644>
- Ungaro, F., Tarocco, P., & Staffilani, F. (2010). Assessing and mapping topsoil organic carbon stock at regional scale: A scorpan kriging approach conditional on soil map delineations and land use. *Land Degradation & Development*, 21(6), 565–581. <https://doi.org/10.1002/ldr.998>
- W.H. Schlesinger, Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery 1986. In: The changing carbon cycle, a global analysis. J.R. Trabalka, D.E. Reichle (eds), Springer- Verlag, New York, 11, 194-220.
- W.M. Post, W.R. Emanuel, P.J. Zinke, G. Stangenberger, Soil carbon pools and worde life zones, *Nature*, 298, 156-159, 1982.
- Zhu, Z., Xiao, M., Atere, C. T., Kuzyakov, Y., Wang, T., Wu, J., Yuan, H., Liu, S., & Ge, T. (2016). Belowground carbon allocation and dynamics under rice cultivation depends on soil organic matter content. *Plant and Soil*, 410(1–2), 247–258. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3005-z>