



Journal Homepage: www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/22616

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22616>



RESEARCH ARTICLE

POTENTIEL DE SEQUESTRATION DE CARBONE DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE: EVALUATION DANS LES SOLS DUSYSTEME OASIEN DU MANGA (SUD-EST NIGERIEN)

Aboubacar Moustapha Moustapha, Malam Moussa Dagrama, Adamou Didier Tidjani and Ambouta Jean-Marie Karimou

1. Departement de Sciences du Sol, Faculte d'Agronomie, Universite Abdou Moumouni BP : 10960 Niamey-Niger.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 10 November 2025
Final Accepted: 12 December 2025
Published: January 2026

Key words:-

sequestration de carbone, système sol-plante, dunes, biomasse ligneuse, Manga, Niger

Abstract

La capacite des sols a stocker du carbone constitue un enjeu majeur dans le contexte du changement climatique de pression demographique. Dans le present travail, Il est evalue le potentiel de sequestration du carbone organique total (COT) dans le systeme sol-plante du systeme oasien du Manga où la degradation des terres est tres prononcée. L'étude porte sur les occupations des sols suivants: les dunes traitees, les dunes vives, les parcours naturels et les cuvettes. Le travail s'appuie sur des analyses dendrometriques, des mesures de la densite apparente et des mesures des teneurs en carbone organique, de la texture et la densite apparente du sol. Le stock du carbone est calcule sur la base d'une formule qui utilise le pourcentage de carbone, la densite apparente du sol et la texture. Les resultats montrent que le stock de carbone varie en fonction de la texture du sol, de la couverture vegetale et de la densite des peuplements. Les cuvettes a eau profonde dont les sols sont de texture fine, presentent le plus fort stockage de carbone, tandis que les plantations des sites traitees a base de Prosopis juliflora et les parcours naturels a Acacia raddiana offrent des stocks importants localises dans la biomasse ligneuse. Ces conclusions appuient l'importance des pratiques de restauration et de gestion durable pour optimiser la sequestration de carbone, attenuer le rechauffement climatique et ameliorer la qualite du sol.

"© 2026 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:

Le sol est reconnu comme le plus important reservoir terrestre de carbone, regroupant entre 2400 et 3000 Gt C, soit le triple de la quantite de carbone contenue sous forme de CO₂ dans l'atmosphere et 4,5 fois de celui contenu dans la vegetation terrestre [1], [2]. Les sols emettent du CO₂ lors des processus de decomposition de la matiere organique et en piege, a travers principalement les etres vivants se trouvant en son sien. Le bilan de cet echange est negatif du fait qu'ils captent plus de carbone qu'ils n'en rejettent, d'où la qualification de puits de carbone. Selon le Groupe International des experts sur le climat [3], le rapport entre les emissions anthropiques annuelles de C (9,4 Gt C) et le stock de C des sols (2400 Gt C) est de l'ordre de 4%, ce qui suggere qu'une augmentation de 4% par an du stock de C des sols permettrait theoriquement de compenser les emissions anthropiques de CO₂. Dans ce contexte, des

Corresponding Author:-Aboubacar Moustapha Moustapha

Address:-Departement de Sciences du Sol, Faculte d'Agronomie, Universite Abdou Moumouni BP : 10960 Niamey-Niger.

initiatives internationales telles que « 4 pour mille » visent à accroître la teneur en carbone organique des sols pour compenser les émissions anthropiques de CO₂[4]. Ainsi l'augmentation de la concentration annuelle du CO₂ pourrait être compensée par la réhabilitation de 2 milliards d'hectares des terres dégradées, pour accroître leur stock de carbone de 1,5 tonnes /ha. Dans les régions sahariennes, la dégradation des terres et l'ensablement intensif révèlent la nécessité d'adopter des stratégies de restauration écologique[5]. Le système oasis du Manga, situé au sud-est du Niger, offre un cadre d'étude pertinent pour évaluer le potentiel de séquestration de carbone dans des sols d'occupations hétérogènes allant des dunes traitées aux parcours naturels en passant par les cuvettes. L'objectif général de cette étude est d'évaluer le potentiel de stockage de carbone dans le système sol-plante et de déterminer l'impact des pratiques de restauration sur l'amélioration des stocks de carbone.

Matiel et Méthodes:-

Présentation de la zone d'étude:

L'étude a été réalisée dans la région du Manga au sud-est du Niger. Elle couvre les départements de Maïné-Soroa et celui de Goudoumaria dans la région de Diffa à l'extrême Sud-Est du Niger (Figure 1). La région est comprise entre le 13°05' et le 14°30' de latitude Nord et le 10°35' et le 12°30' de longitude Est. Le relief est caractérisé par des plaines et des dunes de sable, des cuvettes oasiennes et des bas-fonds. Le climat de la zone est de type saharo-sahélien marqué par une longue saison sèche (9 à 10 mois), suivie d'une saison des pluies aux précipitations courtes et violentes essentiellement durant les mois de juillet et août[6]. La zone d'étude présente une végétation de type steppique ouverte, présentant des petites unités contractées de ligneux [7]. Le cumul pluviométrique annuel à Maïné-Soroa sur la période 1990-2013 est de 384,33 ± 72,60 mm, des températures présentant deux minima de 12 (décembre - Janvier) et 23°C (juillet - août) et deux maxima de 38 (octobre) et 41°C (avril - mai)[8]. L'Harmattan et la Mousson sont les deux types de vent rencontrés dans cette zone où le vent souffle presque tout le temps avec une vitesse moyenne mensuelle de 3 m/s, particulièrement érosive enregistrée de janvier à mars et de juin à juillet du fait de l'intrusion des tempêtes convectives dont les vitesses au moment de leur passage peuvent dépasser les 20 m/s[5]. Les principaux types de sols rencontrés sont des sols bruns rouges subarides, ils sont épais et de texture sableuse et, de faible fertilité, de faible teneur en matière organique et une forte carence de phosphore[9], [10].

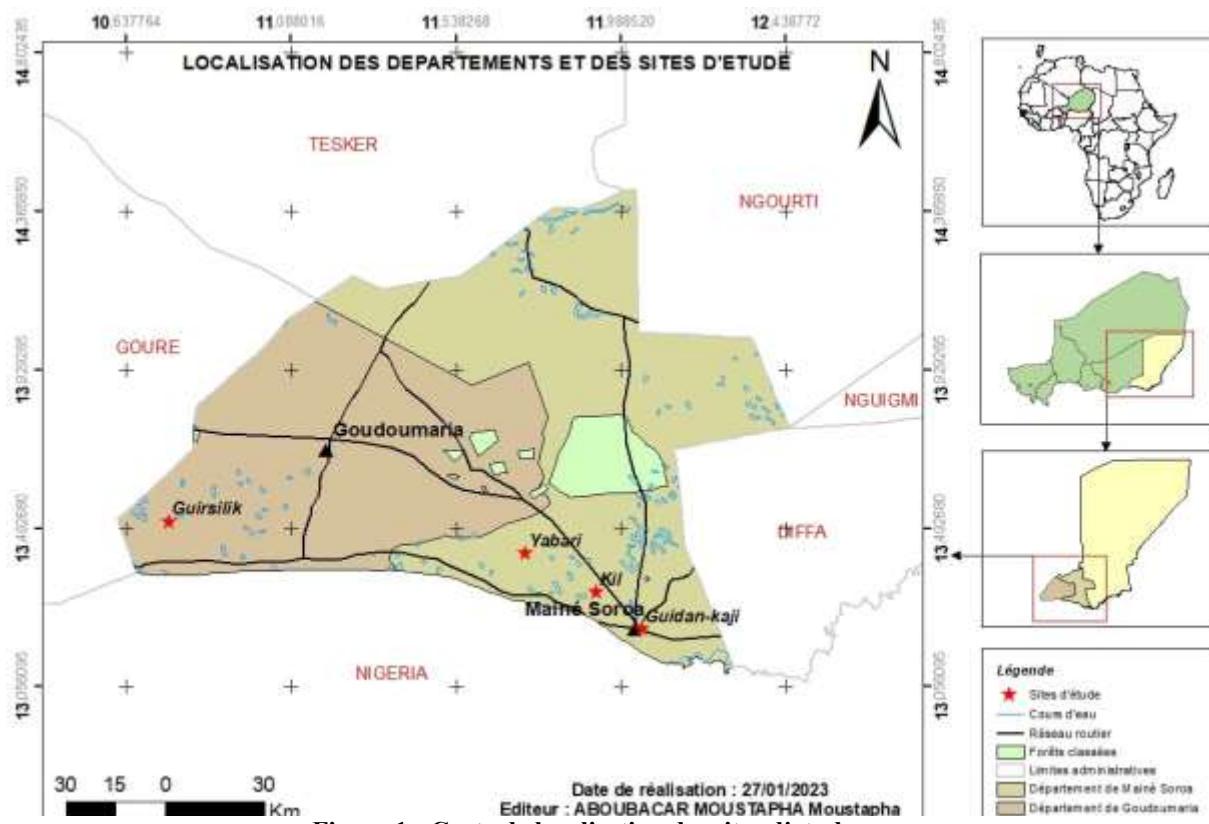


Figure 1 : Carte de localisation des sites d'étude

Caracteristiques des sites etudies:-**Quatre types d'occupations ont ete etudies :**

- Dune traitee:** plantations artificielles de *Prosopis juliflora*, de differents ages (14, 15 et 19 ans), servant d'espaces communautaires pour les pâturages secondaires.
- Dunevive:** dunes fortement degradees caracterisees par une couverture vegetale tres limitee.
- Parcours naturel:** zones se trouvant dans une legere depression presentant une couverture vegetale dominee par *Acacia radiana*, utilisees pour le pâturage et l'exploitation forestiere non ligneuse.
- Cuvette:** forte depression interdunaire ou le sol est de texture limono-argileuse, et la nappe phreatique peu profonde. Ce site est favorable a la pratique de l'horticulture, de la foresterie et de l'elevage. Les caracteristiques permettent une accumulation elevee de matiere organique.

Un inventaire effectue au sein de 48 parcelles de 500 m² (25 m X 20 m). Les paramètres mesures sont le diamètre a hauteur de poitrine, la hauteur totale et la densité des arbres.

Methode de mesure du carbone organique dans le système sol-plante:**• Methode de mesure du carbone organique du sol (COS)**

Des échantillons composites de sol ont été prélevés sur cinq horizons (0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 cm) et analysés par la méthode de Walkley & Black [11] après tamisage (<2 mm), afin d'estimer la concentration de carbone. La densité apparente a été déterminée par la méthode du cylindre, ce qui a permis de calculer le stock de carbone (en Mg C ha⁻¹) pour chacune des couches, puis cumulativement pour la profondeur de 0 à 100 cm.

L'équation 1 a été utilisée pour le calcul du stock de carbone du sol [12].

$$\text{COS} = C/100 \times \rho \times Pe \times (1 - frag) \times 100 \quad (\text{Eq } 1)$$

$$[\text{COS}]_{\text{Sol}(0-100\text{cm})} = \sum (\text{Couche}=1) \text{ a } (\text{Couche}=5) \text{ (COS)} \quad (\text{Eq } 2)$$

Avec : COS : stock du carbone organique du sol (Mg C ha⁻¹) ; C (%) : concentration du carbone organique de la fraction fine du sol (fraction < 2 mm) dans les différentes profondeurs ; ρ = Densité apparente du sol (g cm⁻³) ; Pe : épaisseur de la couche échantillonnée ; frag = pourcentage de la fraction grossière/100 ; 100 est utilisé pour convertir les unités en Mg C ha⁻¹. A cet effet, l'équation permet de calculer le carbone stocké dans une seule couche.

• Biomasse ligneuse :

- La biomasse aérienne a été estimée par des équations allométriques utilisant le diamètre à hauteur de poitrine (DHP).

L'équation généralisée développée par [13] a été utilisée pour estimer la biomasse ligneuse au-dessus du sol

$$Ya = \exp(-2,289 + (2,649 \times \log(DHP)) - (0,021 \times \log((DHP)^2))) \quad (\text{Eq } 3)$$

Avec : Ya représente la biomasse ligneuse aérienne (kg) ; DHP, le diamètre à hauteur de poitrine (D1, 30m).

- La biomasse racinaire a été obtenue par des méthodes non destructives se basant sur le modèle allométrique reliant la biomasse racinaire à la biomasse aérienne).

L'équation suivante[14] a été utilisée:

$$Yr = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(Ya)) \quad (\text{Eq } 4)$$

Avec : Yr représente la biomasse racinaire en kg et Ya = la biomasse aérienne totale au-dessus du sol en kg.

Dans la présente étude, seules les parties aériennes et souterraines de l'arbre sont prises en compte dans la détermination de la biomasse totale à travers l'utilisation de l'équation 5. Ainsi la biomasse ligneuse totale est donnée par la formule :

$$B = Ya + Yr \quad (\text{Eq } 5)$$

Le contenu en carbone des biomasses a été calculé en appliquant un facteur de conversion de 50 % selon les recommandations du GIEC [3].

$$\text{COS (Plante)} = B \times Fc \quad (\text{Eq } 6)$$

Avec : COS représente le carbone emmagasiné dans la biomasse ligneuse (Mg C ha⁻¹), B la biomasse (Mg C ha⁻¹) et Fc le facteur de conversion (50 %).

- Stock total du système sol-plante:** Il représente la somme du carbone présent dans le sol et dans la biomasse ligneuse.

La formule suivante a été utilisée:

$$\text{COS}(\text{Sol-plante}) = \text{COS}(\text{sol}) + \text{COS}(\text{plante}) \quad (\text{Eq}) \ 7$$

Analyses statistiques:

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel R (version 4.0.5). La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et des tests de comparaisons multiples (ANOVA One-Way, test de Duncan et tests non paramétriques de Kruskal-Wallis) ont été effectués pour comparer les moyennes entre les différents types d'occupation des sols, avec un seuil de significativité de 5 %.

Réultats:-

Caractéristiques dendrométriques et densité des peuplements:

Les mesures dendrométriques montrent que les parcours naturels, dominés par *Acacia raddiana*, présentent des arbres avec un DHP et une hauteur totale significativement supérieurs comparativement aux plantations artificielles de *Prosopis juliflora* sur dunes traitées. Toutefois, la densité en arbres est beaucoup plus élevée pour les dunes traitées (jusqu'à 238 pieds ha^{-1}) que pour les parcours naturels (88 pieds ha^{-1}).

Tableau 1 : Caractéristiques dendrométriques des ligneux des dunes traitées et du parcours naturels étudiés

Occupations de sols	Densité (Pieds/ha)	DHP (cm)	Ht(m)	Espèces dominantes
DT (19ans)	238a \pm 56	13,22b \pm 7,47	3,91b \pm 1,15	<i>Prosopis juliflora</i>
DT (15 ans)	143c \pm 10	13,05b \pm 7,76	3,47c \pm 1,52	<i>Prosopis juliflora</i>
DT (14 ans)	178b \pm 39	13,40b \pm 8,60	3,26c \pm 0,33	<i>Prosopis juliflora</i>
PN	88d \pm 28	21,86a \pm 10,88	5,42a \pm 1,33	<i>Acacia raddiana</i>

Legende : PN : Parcours naturel ; DT : Dune traitée ; DHP : Diamètre à hauteur de poitrine (D1, 30m) ; Ht(m) : hauteur totale de l'arbre. Les valeurs affectées de la même lettre sur la même colonne ne sont pas statiquement différentes au seuil de 5 % selon le Duncan test.

Stocks de carbone du sol:

Globalement, les résultats mettent en évidence une forte dépendance des stocks de carbone du sol vis-à-vis de l'occupation des terres et des caractéristiques édaphiques associées. Les milieux aux sols les plus fins et plus humides, comme les cuvettes, favorisent l'accumulation et la stabilisation du carbone organique grâce à une meilleure rétention de l'eau, une productivité végétale plus élevée et une protection physique de la matière organique par les fractions argileuses. À l'inverse, les milieux sableux et instables, tels que les dunes vivantes, limitent fortement le stockage du carbone en raison d'une faible couverture végétale, d'une production de biomasse réduite et d'une minéralisation plus rapide de la matière organique. Les parcours naturels et les dunes traitées occupent une position intermédiaire, traduisant l'effet positif mais progressif de la végétation et des actions de stabilisation sur la restauration des stocks de carbone du sol. Dans l'ensemble, ces observations soulignent le rôle déterminant de la texture du sol, de la couverture végétale et des pratiques de gestion dans la dynamique du carbone organique, et confirment que les actions de restauration des dunes peuvent contribuer, à moyen terme, à l'amélioration du potentiel de séquestration du carbone organique dans les sols.

Tableau 2: Variabilité du potentiel stock de carbone C du sol (COS) en fonction des types d'occupations de sols

Occupations des sols	COS (Mg C ha^{-1})
CEP	396,93 \pm 28,95 a
PN	62,41 \pm 7,70 b
DT (19 ans)	57,67 \pm 1,41 b
DT (15 ans)	42,27 \pm 1,64 c
DT (14 ans)	42,24 \pm 2,59 c
DV	28,43 \pm 2,14 d
Probabilité-Signification	< 2e-16 ***HS

Legende : CEP : Cuvette a eau profonde ; PN : Parcours naturel ; DT (19ans) : Dune traite âgee de 19 ans ; DT (15ans) : Dune traitee âgee de 15 ans ; DT (14ans) : Dune traitee âgee de 14 ans. Les valeurs affectees de la même lettre ne sont pas statiquement differentes au seuil de 5 % selon le Duncan test ; NS : Non Significatif ; HS : Hautement Significatif

La variabilite verticale du stock de carbone est également perceptible. Les sols des cuvettes concentrent plus de 70 % du carbone dans les horizons superficiels (0–40 cm), tandis que les dunes vives presentent une accumulation quasi uniforme en raison d'un faible enrichissement en matière organique.

Tableau 3: Variabilite verticale des stocks de carbone du sol (COS) sous divers modes d'occupation de sols

Occupation s des sols	COS (Mg Cha ⁻¹) 0-20cm	COS (Mg Cha ⁻¹) 20-40cm	COS (Mg Cha ⁻¹) 40-60cm	COS (MgCha ⁻¹) 60-80cm	COS (MgCha ⁻¹) 80-100cm	Probabilite Signification
DV	5,59 ± 0,80 ^a	5,62 ± 0,79 ^{ab}	5,64 ± 0,77 ^{bc}	5,72 ± 0,72 ^{bc}	5,74 ± 0,70 ^c	0,013 S
PN	12,71 ± 2,86 ^a	11,90 ± 1,22 ^a	12,61 ± 1,05 ^a	11,03 ± 0,73 ^a	12,17 ± 1,74 ^a	0,445NS
DT (19ans)	11,76 ± 1,92 ^a	11,56 ± 1,36 ^a	11,29 ± 2,02 ^a	11,22 ± 0,78 ^a	11,85 ± 1,27 ^a	0,900 NS
DT (15ans)	8,49 ± 0,47 ^a	8,43 ± 0,76 ^b	8,40 ± 0,76 ^{bc}	7,89 ± 0,76 ^{cd}	7,85 ± 0,39 ^d	0,001 ***HS
DT (14ans)	8,52 ± 1,41 ^a	8,40 ± 1,33 ^a	8,50 ± 1,24 ^a	8,53 ± 1,21 ^a	8,47 ± 1,19 ^a	0,827 NS
CEP	150,57 ± 1,83 ^a	137,01 ± 1,70 ^b	93,15 ± 5,26 ^c	10,27 ± 0,52 ^d	5,93 ± 0,91 ^c	2e-16 *** HS

Legende : CEP : Cuvette a Eau Profonde ; PN : Parcours naturel ; DT (19ans) : Dune traite âgee de 19 ans ; DT (15ans) : Dune traitee âgee de 15 ans ; DT (14ans) : Dune traitee âgee de 14 ans. Les valeurs affectees de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statiquement differentes au seuil de 5 % selon le Duncan test ; NS : Non Significatif ; HS : Hautement Significatif.

Stocks de carbone dans la biomasse ligneuse:

Les resultats indiquent que la biomasse ligneuse represente environ 70 % du carbone organique total enregistre. Les plantations de Prosopis juliflora âgees de 19 ans affichent des stocks superieurs (autour de 177 Mg C ha⁻¹) par rapport aux plantations plus jeunes (14 et 15 ans, entre 119 et 125 Mg C ha⁻¹) et aux parcours naturels (environ de 157 Mg C ha⁻¹). Ainsi, la densite des peuplements et l'âge des plantations influencent fortement le potentiel de stockage de carbone dans la biomasse.

Tableau 4: Stock de carbone organique dans la biomasse ligneuse aerienne et souterraine selon l'occupation du sol

Occupations des sols	Stock de carbone dans la biomasse ligneuse (Mg C ha-1)
DT (19ans)	176,93 ± 2,37 a
PN	157,16 ± 9,04 b
DT (14ans)	124,72 ± 2,61 c
DT (15ans)	118,68 ± 2,37 d
Probabilite-Signification	< 1,1e-14 *** HS

Legende : PN : Parcours naturel ; DT (19ans) : Dune traite âgee de 19 ans ; DT (15ans) : Dune traitee âgee de 15 ans ; DT (14ans) : Dune traitee âgee de 14 ans. Les valeurs affectees de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statiquement differentes au seuil de 5 % selon le Duncan test ; NS : Non Significatif ; HS : Hautement Significatif.

Stock total du système sol-plante:

En additionnant le carbone stocke dans le sol et dans la biomasse ligneuse, la dune traitee de 19 ans atteint le stock total le plus eleve (235 Mg C ha⁻¹), suivi des parcours naturels (218 Mg C ha⁻¹), alors que les dunes traitees plus jeunes presentent des stocks significativement inferieurs (entre 161 et 167 Mg C ha⁻¹).

Tableau 5: Stock total de carbone organique dans le système sol-plante des dunes traitees et du parcours naturel

Occupations des sols	Stock de carbone dans le système sol-plante (Mg C ha-1)
PN	217,57 ± 4,55 b
DT (19ans)	234,60 ± 1,41 a
DT (14ans)	166,99 ± 2,59 c
DT (15ans)	160,93 ± 1,64 d
Probabilite-Signification	< 2e-16 *** HS

Legende : PN : Parcours naturel ; DT (19ans) : Dune traite âgee de 19 ans ; DT (15ans) : Dune traitee âgee de 15 ans ; DT (14ans) : Dune traitee âgee de 14 ans. Les valeurs affectees de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statiquement differentes au seuil de 5 % selon le Duncan test ; NS : Non Significatif ; HS : Hautement Significatif.

Discussion:-

Les resultats obtenus mettent en lumière l'importance des caracteristiques pedologiques et de la couverture vegetale dans la sequestration du carbone:

- **Influence du type de sol:** Les sols de texture fine, notamment ceux des cuvettes, favorisent une accumulation du carbone organique grâce a leur faible aeration et une moindre decomposition de la matière organique. Ce constat rejoint les observations de[15] dans d'autres contextes pedologiques.
- **Impact de la restauration:** Les dunes restaurées, où des programmes de reverdissement ont été mis en œuvre depuis des quatre decennies montrent une augmentation progressive des stocks de carbone, proportionnelle a l'âge des plantations. Dès lors, au-delà de 20 ans, le potentiel de sequestration des dunes traitées est comparable a celui des parcours naturels malgré le fait que les sols ne soit pas de même texture.
- **Importance de la densite des ligneux :** La forte densite d'arbres, telle que celle observee dans les plantations de Prosopis juliflora (jusqu'à 238 pieds ha⁻¹), contribue significativement au stockage de carbone, depassant parfois les apports realises par des espèces presentant un DHP et une hauteur plus importante mais une densite moindre (Acacia raddiana). Ces constatations sont en accord avec plusieurs etudes realisées en zone sahelienne et dans d'autres regions presentant des conditions edaphiques similaires[16], [17], [18]. Elles soulignent par ailleurs la necessite de prendre en compte les specificites locales (densite, âge, texture des sols) pour developper des modèles precis d'estimation du stock de carbone.

Conclusion:-

L'étude demonstre que la sequestration de carbone dans le système sol-plante au sein du système oasien du Manga est fortement influencee par la texture du sol, la couverture vegetale et la densite des peuplements arborees. Deux points essentiellement emergent:

1. Les sols de texture fine, comme ceux des cuvettes, possèdent un potentiel de stockage supérieur du fait de leur capacite a retenir la matière organique dans les horizons superficiels, d'où la necessite de preserver les systemes dont les sols sont de texture fine.
2. Dans les zones restaurées par la plantation de Prosopis juliflora, la densite des peuplements est un determinant majeur du stock de carbone, et les plantations plus âgées stockent une quantité de carbone plus elevee, comparable voire superieure a celle des parcours naturels. Cependant, la presence de cette espece ligneuse est dommageable parfois a l'environnement et aux animaux.

Dans le système oasien du Manga, le carbone organique du sol des cuvettes represente un puits de carbone durable, alors que celui des dunes restaurées demeure transitoire, dependant du maintien de la couverture vegetale et des pratiques de gestion. La durabilite du carbone du sol n'est donc pas seulement une question de quantite, mais surtout de forme destabilisation.Dans le système oasien du Manga, la plante permet de capturer rapidement le carbone, mais le sol conditionne sa durabilite a long terme. Ces resultats appellent a approfondir les recherches afin de developper des modèles specifiques de calcul pour affiner l'estimation des stocks de carbone durable, en particulier dans le cadre de politiques de lutte contre le changement climatique et de restauration des terres degradees. La valorisation des cuvettes oasiennes et la gestion des jeunes forêts mono-specifiques pourraient ainsi contribuer de manière significative a l'attenuation des emissions de CO₂.

References:-

- [1]K. Hairiah, Measuring carbon stocks: across land use systems : a manual. Malang, Indonesia: Published in close cooperation with Brawijaya University and ICALRRD (Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development), 2010.
- [2]A. E. Hartemink et K. McSweeney, Ed., Soil Carbon. Cham: Springer International Publishing, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-04084-4.
- [3]GIEC, Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. Hayama, Kanagawa, Japon: IGES, 2003.
- [4]R. Lal, « Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security », Science, vol. 304, n° 5677, p. 1623-1627, juin 2004, doi: 10.1126/science.1097396.
- [5]A. D. Tidjani, A. A. Toure, J. L. Rajot, B. Marticorena, et C. L. Bielders, « Flux eolien et dynamique des fronts dunaires dans le Manga, sud-est du Niger », Rev.Ivoir.Sci.Technol, n° 28, p. 323-332, 2016.
- [6]K. A. K. Kaou, O. L. Manzo, I. D. Guimbo, S. Karim, et R. Paul, « Diversite floristique et structure de la vegetation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Mainesoroa », n° 120, p. 12053-12066, 2017.
- [7]I. Bio, H. Rabiou, I. Soumana, B. M. Mamoudou, et A. Mahamane, « Etude floristique des formations naturelles a Vachellia tortilisssp. raddiana en zone sahelienne du Niger », Rev. Marocaine Sci. Agron. Vet., vol. 9, n° 2, p. 230-241, 2021.
- [8]Z. Toudjani, A. Bachir, et G. Maman, « Etude sur la Dynamique de l'Ensablement dans le Departement de Maïne-Soroa : CARTOGRAPHIE DES SITUATIONS DE L'ENSABLEMENT », AFVP&ONG KARKARA, Niger, 2004.
- [9]G.Bocquier et M. Gavaud, « Etude Pedologique du Niger oriental », Ministère de l'Economie Rurale,Service du Genie Rural, Niger, 1964.
- [10]J.-M. K. Ambouta, Z. Toudjani, G. Maman, et A. Bachir, « Etude sur l'inventaire et la caracterisation pedologique et hydraulique des cuvettes oasiennes dans le Departement de Maïne-Soroa : Typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilite d'exploitation agricole et de valorisation (rapport d'etude). AFVP & ONG KARKARA », AFVP&ONG KARKARA, Niger, Rapport d'etude, 2005. Consulte le: 3 novembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://reca-niger.org/IMG/pdf/Diffa_Typologie_cuvettes_Karkara-AFVP_2005.pdf
- [11]A. Walkley et I. A. Black, « An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method », Soil Sci., vol. 37, n° 1, p. 29-38, janv. 1934, doi: 10.1097/00010694-193401000-00003.
- [12]D. Arrouays et al., « Estimation de stocks de carbone organique des sols a differentes echelles d'espace et de temps », Etude Gest. Sols, p. 9, 2003.
- [13]M. Henry et al., « Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations », Silva Fenn., vol. 45, n° 3B, p. 447-569, 2011, doi: 10.14214/sf.38.
- [14]M. A. Carins, S. Brown, E. H. Helmer, et G. A. Baumgardner, « Root biomass allocation in the world's upland forests », Oecologia, vol. 111, n° 1, p. 1-11, juin 1997, doi: 10.1007/s004420050201.
- [15]C.Grinandet al., « Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar », Etude Gest. Sols, p. 13, 2009.
- [16]D. Marone, « Etude du potentiel de stock de carbone d'espèces agroforestières et de leurs traits fonctionnels en lien avec les systèmes d'utilisation des terres au Senegal », Doctorat, Laval, Quebec, Canada, 2015.
- [17]A. Takimoto, V. D. Nair, et P. K. R. Nair, « Contribution of trees to soil carbon sequestration under agroforestry systems in the West African Sahel », Agrofor. Syst., vol. 76, n° 1, p. 11-25, mai 2009, doi: 10.1007/s10457-008-9179-5.
- [18]G. X. kooke, R. K. F. M. Ali, J.-M. Djossou, et I. Toko, « Estimation du stock de carbone organique dans les plantations de Acacia auriculiformis A. Cunn. exBenth. des forêts classees de Pahou et de Ouèdo au Sud du Benin », Int. J. Biol. Chem. Sci., vol. 13, n° 1, p. 277-293, mai 2019, doi: 10.4314/ijbcs.v13i1.23.