

Caractérisation physicochimique du sol dans les sites sylvopastoraux aménagés sur les plateaux dans l'ouest du Niger

Ousseini MOUSSA ABDOU^{1*}, Iro DAN GUIMBO² et Nana Aichatou OUMAROU ISSOUFOU³

¹ Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, Département de Recherche en Economie Rurale, BP 429 Niamey, Niger

² Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Département de Génie Rural et Eaux & Forêts, BP 10960 Niamey, Niger

³ Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département Chimie, BP 10 662 Niamey, Niger

(Reçu le 01 Décembre 2024 ; Accepté le 03 Février Janvier 2025)

* Correspondance, courriel : moussaousseini08@gmail.com

Résumé

La présente étude a pour objectif de déterminer des paramètres de la fertilité du sol dans les sites sylvopastoraux aménagés sur les plateaux dans le département de Ouallam (ouest du Niger). L'étude a retenu des sous-sites ayant respectivement 3 ans, 5 ans et 7 ans d'âge de réalisation. Un profil pédologique a été ouvert sur chacun des sites d'étude, dans un endroit non aménagé. L'épaisseur des particules qui se sont déposées dans la cuvette des demi-lunes a été déterminée. Une carotte de 10 cm de sol a été prélevée dans la cuvette d'ouvrages choisis sur des transects. Les paramètres de fertilité de sol déterminés au laboratoire sont la granulométrie, le pH, le carbone organique et la matière organique. Les résultats montrent que la profondeur à laquelle se trouve la dalle sur les plateaux, varie entre 36 et 40 cm. Il a été dénombré trois horizons, caractérisés essentiellement par la texture limono-sableuse. L'épaisseur des sédiments est passée de $14,15 \pm 1,5$ cm dans la demi-lune de 3 ans à $19,37 \pm 6,04$ cm dans celle de 7 ans. La texture dans l'ouvrage de 7 ans, 5 ans, 3 ans et du témoin, est respectivement sablo-limoneuse, limono-sableuse, sablo-limoneuse et limono-sableuse. Les pH des sols sont compris entre 4,07 et 5,47. Le taux de carbone varie de 0,72 à 1,41 %. La proportion de la matière organique est comprise entre 1,21 et 2,33 %. Les résultats révèlent que les sols sur les plateaux sont peu profonds, pauvres en carbone et en matière organique. La texture du sol dans les demi-lunes a tendance à être grossière avec l'évolution de l'âge de réalisation.

Mots-clés : plateaux, demi-lune, sol, physicochimique, Ouallam.

Abstract

Characterization of the physicochemical properties of soils in silvo-pastoral sites developed on plateaux in western Niger

The objective of this study is to determine soil fertility parameters on silvopastoral sites developed on plateaux in the Ouallam department (western Niger). Sub-sites were selected for the study, which were 3, 5 and 7 years old respectively. A soil profile was carried out on each of the study sites, in an undeveloped area.

Soil particle thickness deposited in the half-moon trough was determined. A 10 cm core of soil was taken from the troughs of selected structures on transects. The parameters of soil fertility determined in the laboratory are granulometry, pH, organic carbon and organic matter. The results show that the depth of the hard rock varies between 36 and 40 cm. Three horizons were identified, characterised mainly by their silty-sandy texture. The thickness of the sedimented soil increased from 14.15 ± 1.5 cm in the 3-year half-moon to 19.37 ± 6.04 cm in the 7-year half-moon. The soil texture in the 7-year, 5-year, 3-year and degraded control is sandy-silty, sandy-silty, sandy-silty and sandy-silty respectively. The soils have a pH of between 4.07 and 5.47. Carbon content varies from 0.72 to 1.41 %. The organic matter content is between 1.21 and 2.33 %. The results show that the soils on the plateaux are shallow and low in carbon and organic matter. The texture of the soil in the half-moons tends to be sandy as the age of construction increases.

Keywords : *plateaux, half-moon, soil, physicochemical, Ouallam.*

1. Introduction

Au Sahel en général et au Niger en particulier, les ressources naturelles subissent une dégradation due aux actions conjuguées du climat et de l'homme [1, 2]. Cette situation s'est accentuée à partir des sécheresses des années 1970 et 1980 [3]. Chaque année, plus de 250 000 ha de terres cultivables sont emportés par la dégradation [4]. La dynamique de la dégradation s'est traduite essentiellement par le recul important des formations végétales naturelles (brousses tigrées et steppes) au profit des paysages aménagés et des sols dénudés [5]. En effet, l'ouest du Niger, se particularise par un paysage complexe. Le paysage est composé principalement de quatre unités géomorphologiques que sont les plateaux en altitude, le talus, les glacis sableux où se pratiquent les activités champêtres et les bas-fonds constituant les zones d'accumulation des eaux de ruissellement [6, 7]. Ces différentes unités paysagères interdépendantes évoluent dans des bassins versants qui constituent des sous-bassins du bassin du fleuve Niger dans l'ouest nigérien [8]. Ainsi, lorsqu'une composante joue peu ou pas son rôle, le fonctionnement normal du bassin versant est compromis. Or, l'essentiel des plateaux de la zone est généralement dégradé et dénudé [9, 10]. Ces plateaux dégradés collectent d'énormes quantités d'eau de pluie qui regagnent les bas-fonds. Cette érosion hydrique, conjuguée à celle éolienne, arrache des tonnes de terres agricoles et pastorales, participant ainsi activement à l'encroûtement des sols [11]. Il est ainsi enregistré l'appauvrissement des sols en nutriments, conduisant à la baisse de leur fertilité. Parmi les conséquences, on note la baisse continue des productions agricoles et pastorales à un moment où les besoins vitaux augmentent. Ainsi, les conditions socio-économiques des populations locales, sont de plus en plus impactées et cela particulièrement pendant les périodes de chocs climatiques [12]. Au regard de la dégradation des ressources naturelles, une dynamique de restauration des terres dégradées se développe de nos jours [13, 14]. En effet, pour restaurer les terres dégradées, des techniques de Conservation des Eaux et des Sols / Défense et Restauration des Sols (CES/DRS) ont été couramment réalisées au Niger [15]. Parmi ces techniques de CES/DRS, les ouvrages creusés dont la demi-lune à vocation sylvopastorale, constituent les plus amplifiés [16-18]. Certes l'efficacité des ouvrages dans la restauration des terres dégradées a été démontrée par plusieurs travaux de recherche, mais la plupart ont été consacrés aux terres agricoles et à la biomasse des sites sylvopastoraux [19 - 21]. La fertilité du sol dans les sites sylvopastoraux est peu abordée. Par ailleurs, en dehors des normes de conception et de gestion, les résultats des surfaces aménagées sont fonction de l'âge de réalisation mais aussi, sont variables selon les sites [22]. Le présent travail a pour objectif de déterminer des paramètres de la fertilité du sol dans les sites sylvopastoraux aménagés sur les plateaux dans le département de Ouallam.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sites d'étude

Les plateaux aménagés de Satara et Tondibiya localisés dans le département de Ouallam (**Figure 1**), ont été les sites d'étude du présent travail. Le climat est de type tropical aride. Les moyennes des précipitations annuelles sont autour de 450 mm [22]. Les moyennes des températures minimales tournent autour de 18° (décembre-janvier) et celles maximales autour de 45° (mars-avril).

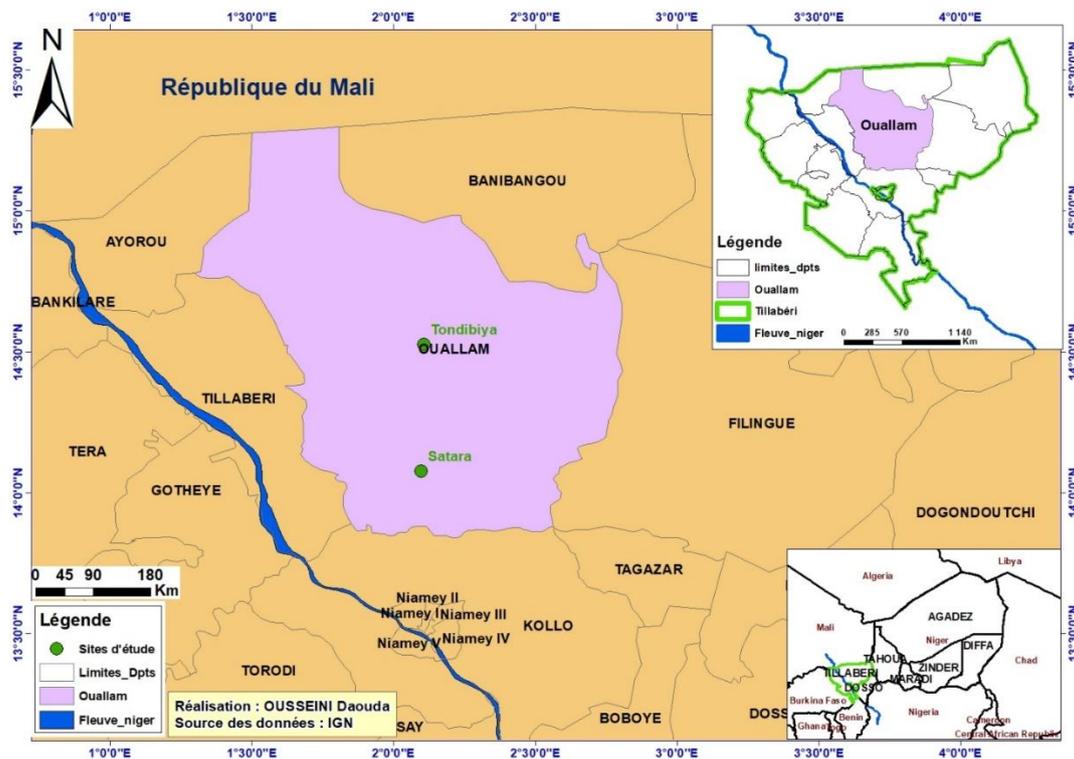


Figure 1 : Localisation des sites d'étude

Les sites comportaient des sections aménagées et non aménagées. L'ouvrage d'aménagement rencontré est essentiellement la demi-lune présentée par la **Figure 2**. A leur réalisation, les demi-lunes ont été ensemencées (en herbacées) et plantées. Cependant, on distingue des sites d'années de réalisation différentes. Le présent travail a retenu trois catégories de sites dont les âges respectifs sont de 3 ans, 5 ans et 7 ans.

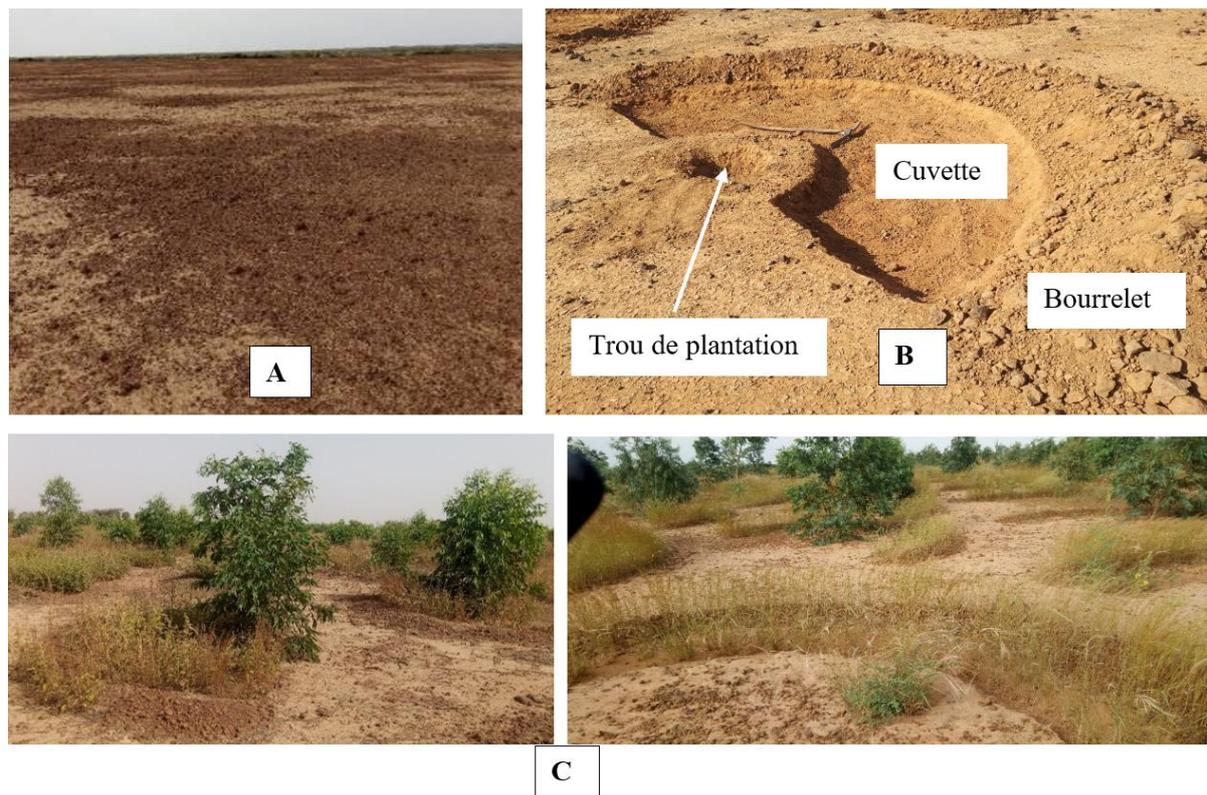


Figure 2 : Images (A) d'une surface de plateau non aménagée, (B) de compartiment d'une demi-lune réalisée et (C) de sites de 3 ans d'âge

2-2. Collecte des données

2-2-1. Ouverture de profils pédologiques

L'ouverture d'une fosse pédologique est capitale dans le cadre d'une étude de sol en ce sens qu'elle renseigne sur la profondeur du sol, les différents horizons, et complète l'analyse du sol au laboratoire [23]. Le profil pédologique permet de caractériser les propriétés physique et chimique des horizons d'un sol. Sur chacun des plateaux (Tondibiya et Satara), un profil a été ouvert sur une surface représentative du site (section non aménagée). Les paramètres physiques déterminés sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Paramètres physiques étudiés à travers le profil pédologique

Paramètres	Méthodes
Horizons : nombre et épaisseur	Observation des transitions et mesure au moyen d'une règle graduée
Couleur des horizons	Utilisation du code de couleur "Munsell"
Texture	Appréciation aux doigts
Structure	Appréciation à vue et aux doigts
Porosité	Appréciation à vue
Consistance	Coup de marteau et au toucher à l'état sec et humide
Taille et orientation des racines	Appréciation à vue et mesure de la taille
Graviers et concrétions	Observation et concassage des mottes
Autres activités biologiques	Observation des galeries et traces biologiques
Test du calcaire	Application de l'acide chlorhydrique (HCL)

2-2-2. Caractérisation des sédiments dans l'ouvrage

L'étude des sédiments dans l'ouvrage avait concerné l'épaisseur du dépôt et l'analyse des particules au laboratoire. Les échantillons de sol ont été collectés suivant des transects. Sur chaque transect, dix (10) ouvrages ont été retenus en utilisant la méthode de « Pas de sondage ». Cet échantillonnage (par transects et sondage) a été choisi afin d'avoir la représentativité des ouvrages compte tenu des facteurs influençant la dynamique de la sédimentation parmi lesquels le vent [24, 25]. En effet, une carotte de 10 cm a été prélevée dans la cuvette (**Figure 3**) et dans un endroit non aménagé représentant le témoin. Un échantillon composite a été constitué par transect.

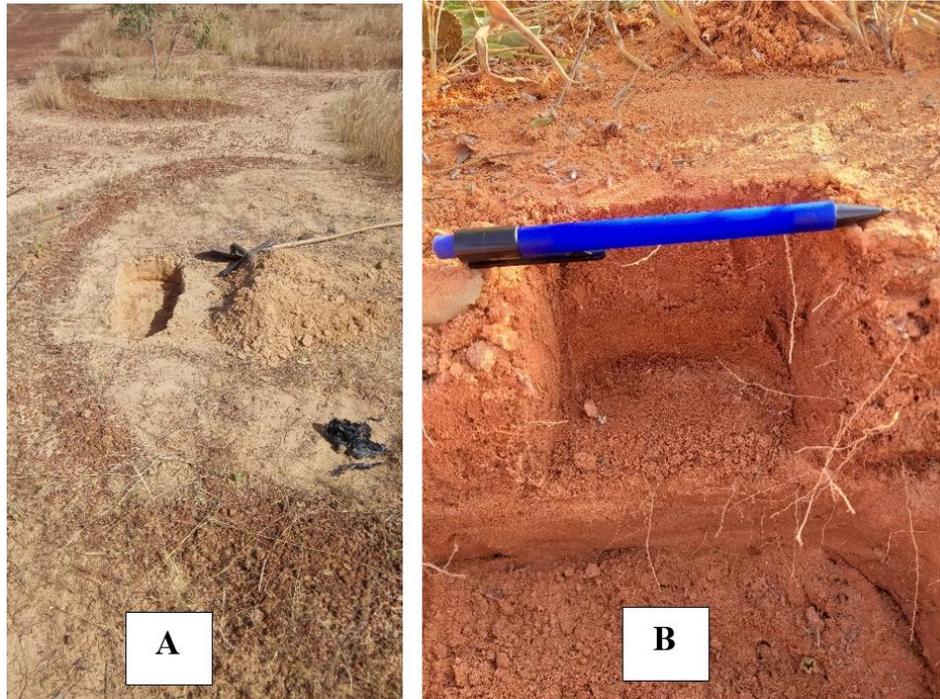


Figure 3 : Images (A) d'un profil cultural ouvert dans une cuvette comblée de demi-lune de Tans et (B) d'une carotte prélevée

2-2-3. Analyses physico-chimiques au laboratoire

Les échantillons ont été analysés au laboratoire des sols de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni (Niamey/Niger). Les paramètres physique et chimique déterminés sont présentés dans le **Tableau 2**. La classe texturale a été déterminée au moyen du triangle textural.

Tableau 2 : Paramètres et méthodes d'analyse des échantillons du sol

Paramètres	Méthodes
Granulométrie	Pipette de Robinson
pH	Rapport sol/eau 1/2,5
Carbone organique et Matière organique	Walkley et Black (1934)
Humidité du sol	Etuve à 105°C

3. Résultats

3-1. Description des profils pédologiques

Les profils ont été opérés sur les plateaux jusqu'à atteindre la dalle (roche dure en altération). La profondeur totale de chaque profil dépend alors de la profondeur à laquelle se trouve ladite dalle. La dalle se trouve à 40 et 36 cm, respectivement à Satara et à Tondibiya. La profondeur totale du profil de Satara et de Tondibiya, est respectivement de 70 et 50 cm. La description des différents profils a permis de dénombrer trois horizons (A, B et C) qui ont tendance à avoir la même couleur (*Figure 4*) qui oscille de brun en surface à rouge en profondeur à l'état humide. L'épaisseur des horizons A et B est différente selon le site. La texture limono-sableuse caractérise l'essentielle des horizons A et B. La porosité est relativement observée au niveau des horizons A et B. Seul l'horizon C enregistre une consistance dure. On note la présence de racines, assimilées à de poils absorbants au niveau des horizons A et B. L'application de l'acide chlorhydrique n'avait pas entraîné une réaction d'effervescence. Sur les plateaux, une variabilité texturale caractérise le sol. On rencontre généralement les textures limono-sableuse et sablo-limoneuse à la surface (horizon superficiel) du sol. Le *Tableau 3* présente les résultats de la description des profils pédologiques.

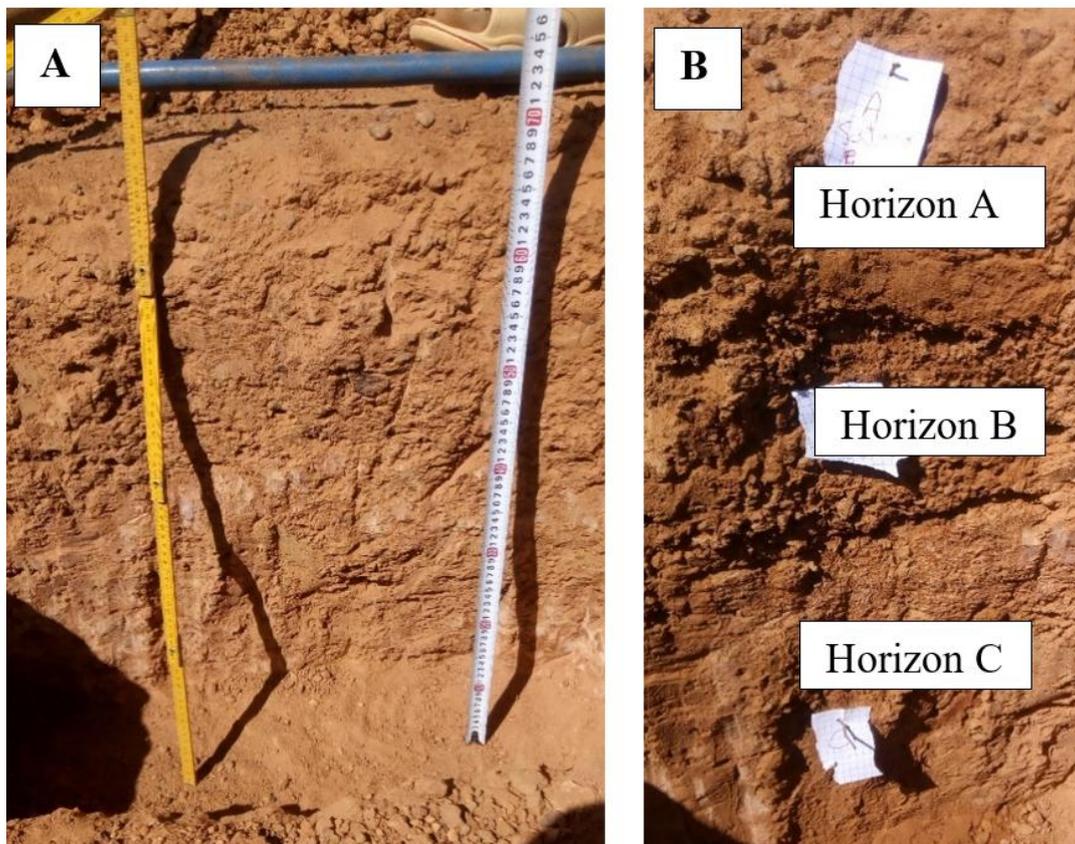


Figure 4 : Vues (A) de la profondeur et (B) des Horizons d'un profil

Tableau 3 : Description des horizons des profils pédologiques

Profil des Sites	Profondeur des Horizons (cm)	Couleur (Humide)	Texture	Structure	Porosité	Consistance (humide)	Taille et Orientation des racines	Graviers et concrétions	Autres activités biologiques	Effervescence à l'acide (HCL)	Transition
Tondibiya	A 0 à 6	5 YR 4/4 Brun rougeâtre	Limono-sableuse	Massive	Pas nette	Friable	Poils absorbants de 0,01 mm	Rare présence	Pas de traces	Pas de réaction	Progressive
	B 6 à 36	5 YR 4/4 Brun rougeâtre	Limono-sableuse	Massive	Poreux	Friable	Poils absorbants de 0,01 à 0,5 mm	Présents de taille de 0,1 à 1 mm	Présence de galerie	Pas de réaction	Progressive
	C 36 à 50	2,5 Y 3/6 Rouge foncé	Roche mère	Fragmentaire	Pas de pores	Très dure	Absence de racines	Absence	Pas de traces	Pas de réaction	Non appréciable
Satara	A 0 à 20	5YR 4/6 Brun rougeâtre	Sablo-limoneuse	Massive	Poreux	Friable	Présence de poils absorbants de 0,1 mm	Présence remarquée	Pas de traces	Pas de réaction	Progressive
	B 20 à 30	5YR 4/6 Brun rougeâtre	Limono-sableuse	Massive	Peu poreux	Dure	Poils absorbants de 0,1 à 0,5 mm	Présence inférieure à l'horizon A	Pas de traces	Pas de réaction	Progressive
	C 30 à 70	10YR 3/3 Rouge sombre	Sablo-limoneuse	Massive	Faiblement poreux	Très dure	Absence de racines	Absence	Pas de traces	Pas de réaction	Non appréciable

3-2. Epaisseur des sédiments

Il ressort des résultats que l'épaisseur des particules qui se déposées dans la cuvette de la demi-lune, augmente avec l'âge (**Tableau 4**). Dans les sites de 7 ans, il a été observé certaines demi-lunes dont la cuvette est totalement comblée de sédiments.

Tableau 4 : Epaisseur et vitesse de sédimentation en fonction de l'âge de la demi-lune

Age du site ou de la demi-lune (ans)	Epaisseur totale du dépôt des sédiments (cm)	Vitesse de dépôt des sédiments (cm/an)
3	14,15 ± 1,50	5,85 ± 1,80
5	17,33 ± 1,79	3,46 ± 0,35
7	19,37 ± 6,04	2,23 ± 1

3-3. Paramètres granulométriques

Les résultats de l'analyse granulométrique présentés par la **Figure 5**, ont relevé que la texture est fonction du site. La texture dans la demi-lune de 7 ans, 5 ans et 3 ans et leur témoin, est respectivement sablo-limoneuse, limono-sableuse, sablo-limoneuse et limono-sableuse.

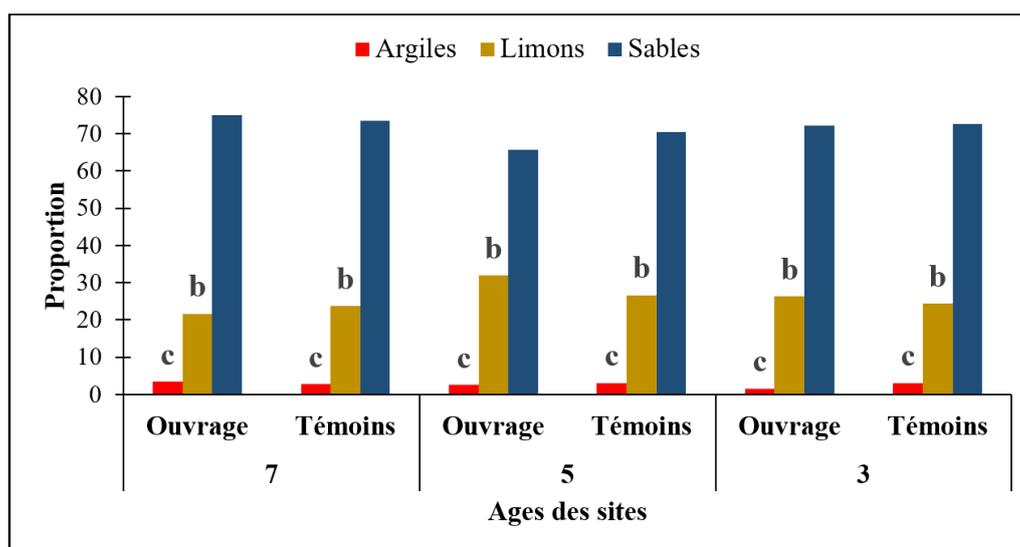


Figure 5 : Proportion des éléments texturaux de la sédimentation dans l'ouvrage

Les barres affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. L'analyse granulométrique révèle que les sables dominent. Ils représentent au moins 2/3 des particules avec une dominance des sables moyens. Aussi, il apparaît que la texture du sol sédimenté dans la cuvette de l'ouvrage, a tendance à être grossière. La demi-lune de 7 ans a enregistré plus de sables comparativement à celles de 5 et 3 ans.

3-4. Paramètres chimiques

On constate que les sols ont des pH acides et sont très pauvres en carbone et en matière organique. L'analyse statistique (**Figure 6**) a relevé que les pH du sol ne sont pas différents au plan statistique. La demi-lune de 7 ans a le meilleur taux en matière organique (**Figure 7**).

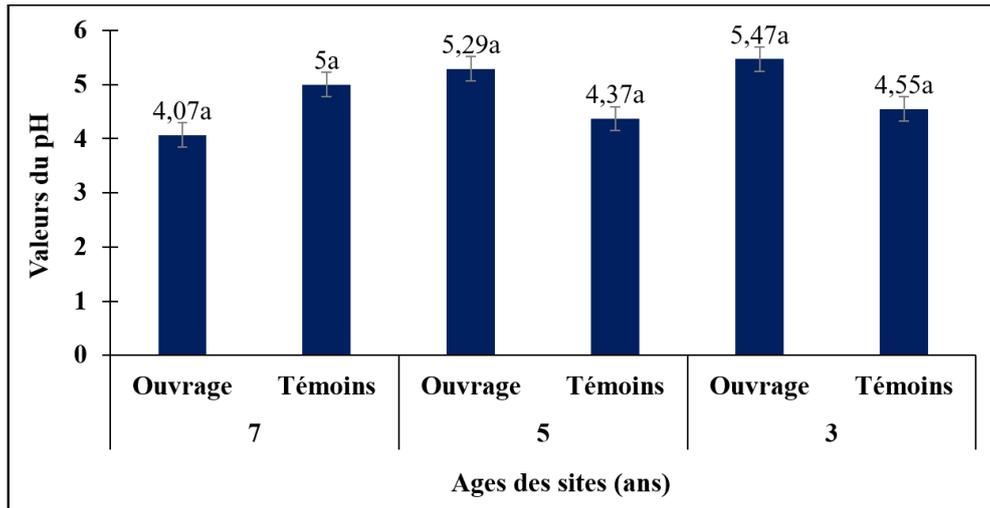


Figure 6 : Valeur pH du sol en fonction de l'âge du site

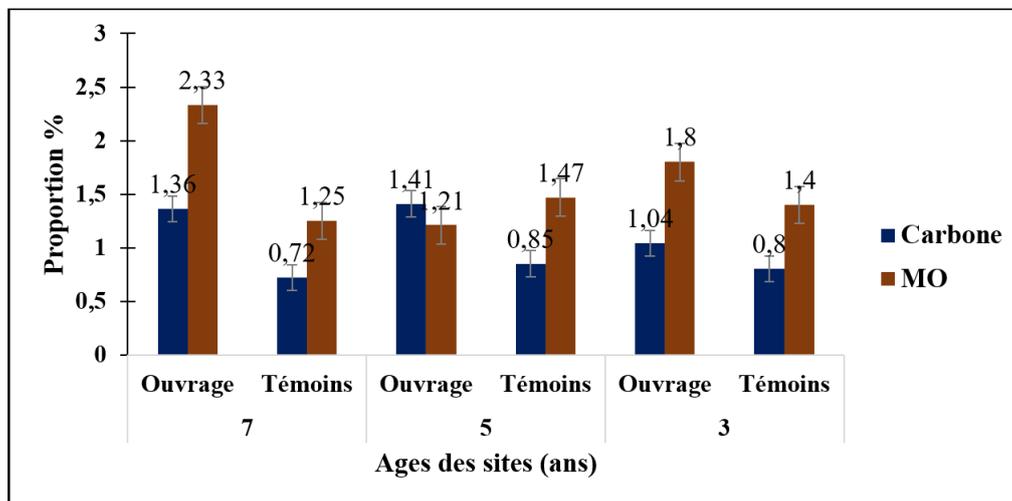


Figure 7 : Carbone et matière organique de la sédimentation dans les sites aménagés

4. Discussion

4-1. Profils pédologiques

Les résultats de l'ouverture des profils pédologiques, ont révélé que le sol est peu épais avec des discontinuités moins nettes entre les différents horizons. La roche dure en altération (dalle) se trouve à moins d'un mètre de profondeur. Cela constitue un facteur limitant au développement racinaire des ligneux notamment ceux ayant un système racinaire pivotant. L'ouverture des fosses pédologiques ont permis de déterminer la profondeur et les différents horizons du sol, qui sont des précisions capitales [23]. L'absence d'effervescence suite à l'application de l'acide chlorhydrique, témoigne l'absence du calcaire dans le sol. Le calcaire est absent alors qu'il a un rôle essentiel dans l'équilibre physico-chimique du sol [26]. L'analyse de la granulométrie (témoin complètement dégradé), a abouti sur la texture limono-sableuse. Ce qui confirme le résultat de la description des profils pédologiques, qui a révélé les textures limono-sableuse et sablo-limoneuse. Une étude effectuée sur des plateaux de la commune de Simiri [17], a révélé que les textures des sols sont entre moyenne et sableuse. En effet, les plateaux ferrugineux du sud-ouest du Niger, ont une texture moyenne, peu ou non-sableuse [8]. Ces différents résultats dénotent la variabilité texturale du sol sur les plateaux de l'ouest nigérien.

4-2. Particules accumulées dans la cuvette de l'ouvrage

4-2-1. Epaisseur des sédiments

Le dépôt des particules dans la cuvette a pour rôle de régénérer les fonctions essentielles des sols que sont entre autres, support pour les espèces particulièrement végétales, banque de nutriments et catalyseur d'échange entre le milieu édaphique et l'atmosphère [27]. L'épaisseur de la sédimentation varie selon les sites, mais la tendance dégagée montre qu'elle augmente avec l'âge de la demi-lune. Elle passe de $14,15 \pm 1,5$ cm dans la demi-lune de 3 ans à $19,37 \pm 6,04$ cm dans celle de 7 ans. En dehors de l'âge, les facteurs influençant le dépôt des particules dans la cuvette peuvent être entre autres l'érosion éolienne, l'effritement du bourrelet suite à la battance des gouttes de pluie, la texture du sol aménagé et la typologie des ouvrages d'aménagement. Lors d'une étude effectuée dans la commune de Simiri [22], l'épaisseur de sédimentation est comprise entre 8 et 15 cm dans la banquette pastorale de 3 ans, l'ouvrage partageant les mêmes principes de base et de fonctionnement avec la demi-lune sylvopastorale. Cela prouve que les ouvrages creusés entraînent la sédimentation de particules dans leur cuvette.

4-2-2. Granulométrie

L'évolution de la texture limono-sableuse du témoin complètement dégradé à la texture sablo-limoneuse dans la demi-lune de 7 ans, implique qu'une accumulation de sables a eu lieu. Cela constitue une amélioration dont la flore herbacée est la principale bénéficiaire lorsqu'on sait que l'encroûtement du sol est l'un des facteurs principaux de la dégradation des plateaux. L'âge et la typologie de l'ouvrage sont des facteurs de la dynamique texturale dans les ouvrages [22]. L'aménagement favorise donc le dépôt de sables et le développement des herbacées du fait de leur forte résilience au climat sahélien [28, 29]. Corrélativement aux plateaux aménagés, sur un replat dunaire stabilisé dans le département de Gouré (Niger), il a été obtenu 91,11 % de sables pour l'horizon superficiel A (0 à 25 cm) [30]. Ces résultats démontrent que les sédiments déposés, serait liée à la nature du sol et au type d'aménagement d'une part et confirment que les techniques de récupération des terres dégradées font évoluer la texture du sol d'autre part. Les techniques de récupération des terres ont toujours amélioré les caractéristiques physiques des sols [31, 32].

4-2-3. Paramètres chimiques

S'agissant des paramètres chimiques analysés, on constate leur amélioration selon l'âge du site comparativement au témoin. La teneur en matière organique (MO) est de 1,8 et 2,33 %, respectivement le taux de l'ouvrage de 3 et 7 ans, alors que le taux du témoin dégradé varie de 1,25 à 1,47 %. Le taux de carbone est de 0,72 et 1,36 % respectivement celui du témoin dégradé et de l'ouvrage de 7 ans. Le plus âgé des ouvrages a le taux élevé en matière organique (MO). Cet écart de la MO dénote une restitution de la biomasse au sol. Cela contribue à l'amélioration du complexe argilo-humique et de la porosité du sol dont dépendent l'infiltration de l'eau et les échanges gazeux. Ces résultats sont supérieurs à ceux trouvés dans le sud-ouest du Niger où le témoin dégradé a un taux de matière organique et carbone, respectivement de 0,11 et 0,06 % [31]. Cette différence serait liée à la profondeur de prélèvement du sol qui est de 10 cm pour la présente étude contre 3 cm pour l'étude menée dans le sud-ouest [31]. En ce qui concerne le pH des sols, ils sont acides même si ceux des cuvettes (site de 7 ans) présentent une légère amélioration comparativement au témoin (sol non aménagé). La réalisation de la demi-lune a eu un impact positif sur le pH. Par ailleurs, d'une manière générale, les espèces végétales (rhizosphère) modifient le pH du sol, par production des acides organiques, par l'assimilation différentielle des anions et des cations et par leur influence sur les activités microbiennes [33]. Les prélèvements répétés des herbacées diminuent la teneur en éléments minéraux des sols [34] dans un contexte où les ouvrages des sites pastoraux ne reçoivent pas d'apport en matière organique contrairement aux ouvrages agricoles. La présence des Poaceae comme *Cenchrus biflorus* et *Pennisetum pedicellatum*, constitue un indicateur de fertilité [35]. Au regard de ce qui précède, l'amélioration ou la dégradation des paramètres chimiques selon que l'âge du site évolue, serait due à l'activité racinaire des herbacées d'une part, et à la nature des particules qui se déposent d'autre part.

5. Conclusion

Au terme de la présente étude, il est à retenir que le sol sur les plateaux est peu profond. La roche dure en altération (dalle) se trouve à une profondeur inférieure à un mètre. Les horizons superficiels dont les épaisseurs cumulées n'excèdent pas cinquante centimètres, ont une texture dominée par limono-sableuse. Les traces des biotes sont rares, excepté dans les ouvrages. La demi-lune a permis le dépôt de particules de sol et éventuellement de particules de matière organique. L'épaisseur des sédiments augmente avec l'âge de l'ouvrage. La texture du sol dans les ouvrages (sédiments), varie de sablo-limoneuse à limono-sableuse. L'évolution de la texture qui devient grossière grâce à l'accumulation des particules dans l'ouvrage au fil du temps, entraîne l'amélioration du taux en matière organique, du pH et éventuellement de l'infiltration de l'eau dans le sol. Cette sédimentation constitue un support pour la végétation notamment celle herbacée. L'aménagement a amélioré la fertilité du sol, favorisant la création d'un microclimat à l'échelle de la demi-lune.

Références

- [1] - B. ABDOU, S. T. SOULEYMANE, C. BABA, D. CHEICK HAMALLA, D. MORIKE, T. ALOU et D. SIDI, Pressions anthropiques et dynamique d'occupation des terres dans le terroir de Ziguéna, zone cotonnière du Mali. *European Scientific Journal*, 12 (5) (2016) 90 - 99
- [2] - S. B. BONI, J. D. PAULIN, A. BOUREIMA et S. BRICE, Exploitation des ressources biologiques et dynamique de la forêt classée de la Mekrou au Bénin. *European Scientific Journal*, 12 (36) (2016) 228 - 244
- [3] - M. LARWANOU, "Dynamique de la végétation dans le domaine sahélien du Niger occidental suivant un gradient d'aridité : Rôles des facteurs écologiques, sociaux et économiques," Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, (2005) 229 p.
- [4] - FEM-FIDA (Fonds pour l'Environnement Mondial- Fonds International de Développement Agricole), "S'attaquer à la dégradation et à la désertification des terres", (2002) 9 p.
- [5] - M. ISSOUFOU, O. BOUREÏMA et D. ADO, Evolution de l'occupation des sols dans la partie Nord du Dallol Bosso, départements de Filingué et Balleyara, région de Tillabéri-Niger. *European Scientific Journal*, 14 (30) (2018) 391 - 407
- [6] - M. M. BOUBACAR, M. M. INOUSSA, J. M. K AMBOUTA., A MAHAMANE, A. A. JORGEN, Y. HARISSOU et H. RABIOU, Caractérisation de la végétation ligneuse et des organisations pelliculaires de surface des agroécosystèmes à différents stades de dégradation de la Commune rurale de Simiri (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (5) (2013) 1963 - 1975
- [7] - A. O. MOUSSA, N. DAN LAMSO, I. DAN GUIMBO, S. SAIDOU et H. GAMA DADI, Etudes des facteurs influant la dynamique du paysage dans le département de Ouallam (Niger). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 37 (4) (2022) 735 - 751
- [8] - CILSS (Comité permanent Inter- Etats de Lutte contre la sécheresse dans le Sahel), "Les Paysages de l'Afrique de l'Ouest : Une Fenêtre sur un Monde en Pleine Évolution", U.S. Geological Survey EROS, 47914 252nd St, Garretson, SD 57030, UNITED STATES, (2016) 219 p.
- [9] - A. O. MOUSSA, S. I. OUMAILA, I. DAN GUIMBO et H. GAMA DADI, Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la commune de Simiri, ouest-nigérien. *International Journal of Applied Research*, 10 (6) (2024) 193 - 202
- [10] - A. O. MOUSSA, H. RABIOU, I. SOUMANA et I. DAN GUIMBO, Etude de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune de Tondikiwindi dans l'ouest-nigérien. *AFRIMED AJ - Al Awamia*, (145) (2024) 49 - 59
- [11] - M. MANSOUR, I. M. ISSIAKA, H. VOLKER et M. ALI, Évaluation du risque d'érosion du sol au Sahel : cas du paysage de Tillabéry. *Afrique SCIENCE*, 16 (5) (2020) 235 - 248

- [12] - S. DOUMA, Etude ethnobotanique et écologique des plantes ligneuses alimentaires de soudure des systèmes agroforestiers du sud-ouest du Niger : diversité, importance, structure et niveau de menace, Thèse de Doctorat Unique de l'Université Abdou Moumouni, Niamey, (2016) 93 p.
- [13] - H. MOUSSA, A. S. NOMA, A. T. MADOU et B. HASSANE, Evaluate the socio-economic impact of the realization of half-moons and forest benches, their durability as well as their influences on the plantations of *Eucalyptus camaldulensis* at the village of Satara, commune of Simiri, department of Ouallam, region of Tillabery in Niger, west Africa. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 3 (6) (2017) 4307 - 4328
- [14] - A. O. MOUSSA, I. DAN GUIMBO, N. DAN LAMSO, H. RABIOU et S. A. HAROUNA, Impacts de la demi-lune sylvopastorale sur la revégétalisation des plateaux dans le département de Ouallam (Niger). *European Scientific Journal*, 18 (36) (2022) 119 - 223
- [15] - A. O. MOUSSA, A. OUSSEINI, D. Y. ALIO, I. N. OUMAROU, I. SOUMANA et I. DAN GUIMBO, Evaluation of the cost of silvo-pastoral site development operations: The case of a half-moon site in the Ouallam/ Niger department. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 10 (1) (2025) 52 - 59
- [16] - S. DOUMA, S. IDRISSE, M. ALI, M. SAADOU, K. AMBOUTA, A. ICHAOU et Z. GANDOU, Restauration de plages nues d'une brousse tachetée au Niger. *Afrique SCIENCE*, 07 (1) (2011) 77 - 92
- [17] - A. AMANI, I. ADAM, S. BARMO, E. M. ABDOURAHAMAN et A. MAHAMANE, Impacts des banquettes et demi-lunes forestières sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale spontanée dans l'Ouest nigérien. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 34 (3) (2021) 583 - 600
- [18] - A. O. MOUSSA, I. DAN GUIMBO, N. DAN LAMSO et M. A. MAHAMADOU, Sedimentation dynamics of soil particles in silvopastoral half-moons on restored plateaus in the Ouallam department (Niger). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7 (5) (2022) 129 - 139
- [19] - J. T. YAMEOGO, A. N. SOME, A. METTE LYKKE, M. HIEN et H. B. NACRO, Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zai et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso. *Tropicultura*, 31 (4) (2013) 224 - 230
- [20] - M. A. ABDOULAYE, B. SOUMANA et M. BARRAGE, Analyse de la rentabilité économique de la culture du mil et du sorgho sur les sites récupérés avec des demi-lunes dans la zone de Bagaroua au Niger. *International Journal of Current Research*, 13 (09) (2021) 18939 - 18944
- [21] - A. O. MOUSSA, I. DAN GUIMBO et I. SOUMANA, Evaluation des services écosystémiques dans les sites silvo-pastoraux aménagés dans le département de Ouallam (Niger). *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 5 (12) (2023) 171 - 178
- [22] - M. O. LAMINO, A. AMANI, I. DAN GUIMBO, A. H. RACHIDI et A. MAHAMANE, Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, (151) (2020) 15510 - 15529
- [23] - IR et IRH, "Guide de la fertilisation raisonnée", Vignobles de la Vallée du Rhône, (2003) 39 p.
- [24] - T. A. ABDOURHAMANE, "Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et passée en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques" Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France, (2011) 224 p.
- [25] - P. GEOFFREY, "Quantification des vitesses de dépôt par temps sec et documentation des processus d'émission des aérosols sur couvert naturel : Du nanomètre au micron" Thèse de Doctorat, Université Paris-Est, France, (2017) 235 p.
- [26] - EUROFERTIL, Le calcium, un élément amendement et fertilisant. Info technique AGRO-FOURNITURE, note technique interne de Février 2001, (2001) 6 p.
- [27] - J.-S. AY, N. POUSSE, L. RIGOU et L. THANNBERGER, Vers une évaluation des coûts de la dégradation des sols : Éléments de cadrage, outil d'analyse et études de cas. *Etude et Gestion des Sols*, (27) (2020) 147 - 161

- [28] - K. ANDRE, J. N. AIME et O. TINRMEGSON, Effets des cordons pierreux sur la régénération d'un pâturage naturel de glaciés au Sahel. *Cahiers Agricultures*, 17 (3) (2008) 281 - 288
- [29] - I. SOUMANA, T. ABASSE, J. C. WEBER, M. LARWANOU, M. ALI et M. SAADOU, Restoring Plant Succession on Degraded Crusted Soils in Niger : a Case Study Using Half Moons, Tree Seedlings and Grass Seed. *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, 3 (9) (2016) 42 - 52
- [30] - A. D. TIDJANI, Etude pédologique des sites d'observatoire de l'ensablement et de la dégradation des terres : Gassafa - Bouné - Worro (département de Gouré) et Boulbouldji - Kil - Gouderam (Robodji) (département de Mainé soroa) au Niger. Rapport, Faculté d'Agronomie/ UAM, (2013) 78 p.
- [31] - Y. B. HAMADOU, Y. T. HASSANE, T. A. ABDOURHAMANE, J. Z. AMOUDOU et Z. GARBA, Dégradation des terres et évaluation du potentiel physicochimique des terres dégradées du sud-ouest du Niger : cas des sols du terroir villageois de Boubon. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, (31) (2018) 123 - 137
- [32] - M. M. ABDOU, M. HASSIMI, A. ABDOU, A. ABDOULKADRI, A. I. MAAZOU et M. Z. ALZOUUMA, Impact des techniques de récupération des terres dégradées sur la productivité du mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br.) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29 (4) (2020) 1264 - 1272
- [33] - Y. LAMBIENOU, "Stratégies des Graminées pour le recyclage des nutriments et herbivorie," Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, France, (2013) 88 p.
- [34] - R. LAL, Soils and food sufficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer. *Verlag/EDP Sciences/INRA*, 29 (1) (2009) 113 - 133
- [35] - M. B. MOUSSA, H. RABIOU, M. M. INOUSSA. Y. BAKASSO et A. MAHAMANE, Bioindicateurs de la fertilité des sols et la perception paysanne à l'Ouest du Niger. *Journal of Applied Biosciences*, (89) (2015) 8281 - 8290