



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/20653
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/20653>



RESEARCH ARTICLE

VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DU SYSTEME OASIEN DU MANGA AU SUD-EST NIGER

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

Département de Sciences du Sol, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni BP : 10960 Niamey-Niger.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 21 January 2025

Final Accepted: 24 February 2025

Published: March 2025

Key words: -

Oasis System, Dune Fixation, Physico-Chemical Characteristics, Manga-Sud-Est-Niger

Abstract

The soils of the Manga oasis system cover the red-brown soils of the dunes, the brown soils of the lowlands and the alluvial soils of the basins. Silting and a decline in chemical fertility are the main forms of soil degradation. Fixing the living dunes (mechanically and biologically) promises to improve the physico-chemical qualities of the soil. To assess the characteristics of soils in the oasis system, carbon, nitrogen, assimilable and total phosphorus and granulometric fractions are measured. The results show that at a depth of 60 cm in the soil of the basins, clays combined with silts account for more than 60%. At a depth of 100 cm, clays and silts make up less than 7% of the granulometric composition in the dunes and lowland rangeland soils. The pH is neutral in the basin soils and slightly acidic in the dune and lowland soils. In the first 60 cm, the carbon, nitrogen, total phosphorus and assimilable phosphorus contents are significantly higher in the basin soils than in the dune and bottomland rangeland soils. Overall, the physico-chemical characteristics of the soils show vertical variability, with the first horizons showing high levels and the underlying horizons showing low levels. Dune fixation has significantly improved the physico-chemical qualities of the first soil horizons. This study could serve as a basis for decision-makers and partners involved in land restoration in the oasis system. It also provides a basis for farmers using oasis basins to boost agroforestry production.

"© 2025 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

Les perturbations climatiques observées depuis le début des années 70 conjuguées aux multiples pressions anthropiques et les pratiques d'exploitation inadéquates des ressources végétales ont conduit à la remise en mouvement des formations dunaires jadis fixées par la végétation naturelle dans les régions du Manga Sud-Est du Niger [1]–[5][1]–[3], [5], [6]. Dans cette partie du Niger, l'érosion éolienne dégrade continuellement les ressources en sols à travers l'arrachage et le transport des particules se trouvant en surface [6]–[8]. L'ensablement des cuvettes, des bas-fonds et des terres dunaires se trouvant sur la trajectoire du sable mobile contribue à dégrader cet écosystème oasien [1]. Face à cette situation, des techniques de fixation des dunes ont été développées pour stabiliser les masses de sable pour préserver le capital productif que constituent les terres dépressionnaires situées

Corresponding Author:- Aboubacar Moustapha Moustapha

Address:- Département de Sciences du Sol, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni BP: 10960 Niamey-Niger.

dans les cuvettes, les bas-fonds[9] et les terres dunaires non dégradées se trouvant sur les trajectoires des sables en mouvement. La stabilisation des dunes mobiles permet la préservation du système oasien à travers la restauration des dunes dénudées pouvant être mise en mouvement par le vent. La restauration des dunes se traduit par une amélioration de la qualité du sol et une ré-végétalisation des édifices jadis dépourvus de végétation [4], [10], [11]. Les études menées en Asie et au Maghreb ont montré les mêmes effets de la fixation des dunes sur l'amélioration de qualité du sol et la restauration du couvert végétal [12]–[14]. Toutefois au Niger, les mesures de l'efficacité de la fixation des dunes se limitent à l'évaluation de la qualité de l'horizon de surface du sol et l'évaluation du couvert herbacée et ligneux des sites de fixation des dunes. Ainsi, rares sont les études qui se sont intéressées à la variabilité verticale des caractéristiques physico-chimiques des sols selon leurs occupations. Cette étude vise à mesurer la variabilité des caractéristiques physico-chimiques des sols dunaires sous divers types d'occupations dans le système oasien du Manga. Il s'agit de façon spécifique de : (i) : Analyser la variation des caractéristiques physico-chimiques du sol suivant la profondeur pour un type d'occupation du sol donné ; (ii) : Analyser la variation des caractéristiques physico-chimiques du sol pour une profondeur donnée suivant les types d'occupation du sol ; (iii) : Analyser les effets des traitements mécaniques et biologiques des dunes vives sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques.

Méthodologie:-

Localisation des sites d'étude

Les sites de l'étude sont situés dans les parties Sud-Est des départements de Maïné-Soroa et celui de Goudoumaria dans la région de Diffa à l'extrême Sud-Est du Niger (Figure 1). Elle 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 dunes, des bas-fonds et des cuvettes oasiennes [15]. 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[16]. La zone d'étude présente une végétation de type steppique ouverte, présentant des petites unités contractées de ligneux [17]. 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) [18]. Les vents d'Harmattan et la Mousson sont les plus 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 [3]. 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 de matière organique et une forte carence de phosphore [15], [19]–[21]. Ils sont occupés par les aires de pâturages à dominance de graminées.

Echantillonnage

Au total six (6) profils pédologiques ont été ouverts dans chacun des sites d'étude. Cinq (5) échantillons de sol ont été prélevés dans chaque horizon au niveau de chacun des sites. Les analyses physico-chimiques a été réalisée sur 150 échantillons composites sur les profondeurs suivantes : (0_20 ; 20_40 ; 40_60 ; 60_80 ; 80_100 cm). Il s'agit de 30 échantillons des sols de dunes traitées sous plantation de *Prosopis juliflora* depuis 3 ans (DT_{-3ans}), 30 échantillons des sols de dunes traitées sous plantation de *Prosopis juliflora* depuis 19 ans (DT_{-19ans}), 30 échantillons des sols de dunes vives (DV), 30 échantillons des sols de parcours naturels (PN) et 30 échantillons des sols de cuvettes à eau profonde (CEP). Sur les parcours naturels se trouvant dans les bas-fonds (BF-PN) qui sont à apparence visiblement homogène, les fosses pédologiques ont été disposées de manière aléatoire de façon à couvrir toute la zone. Au niveau des cuvettes à eau profonde, les profils sont disposés suivant les auréoles extérieures vers les auréoles intérieures. Sur les espaces dunaires traités et non traités disposent des zones d'accumulation et des zones de déflation. Les profils ont été ouverts en tenant de l'hétérogénéité morphologique et de surface.

Détermination des caractéristiques physico-chimiques des sols

Les analyses ont été faites au Laboratoire de sol et dynamique de surface de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni (UAM) de Niamey. Les échantillons de sol ont été d'abord séchés à la température ambiante puis tamisés à 2 mm en vue de séparer la terre fine et les éléments grossiers. Les analyses sont faites sur la terre fine ($\phi \leq 2$ mm) en tenant compte du poids d'humidité.

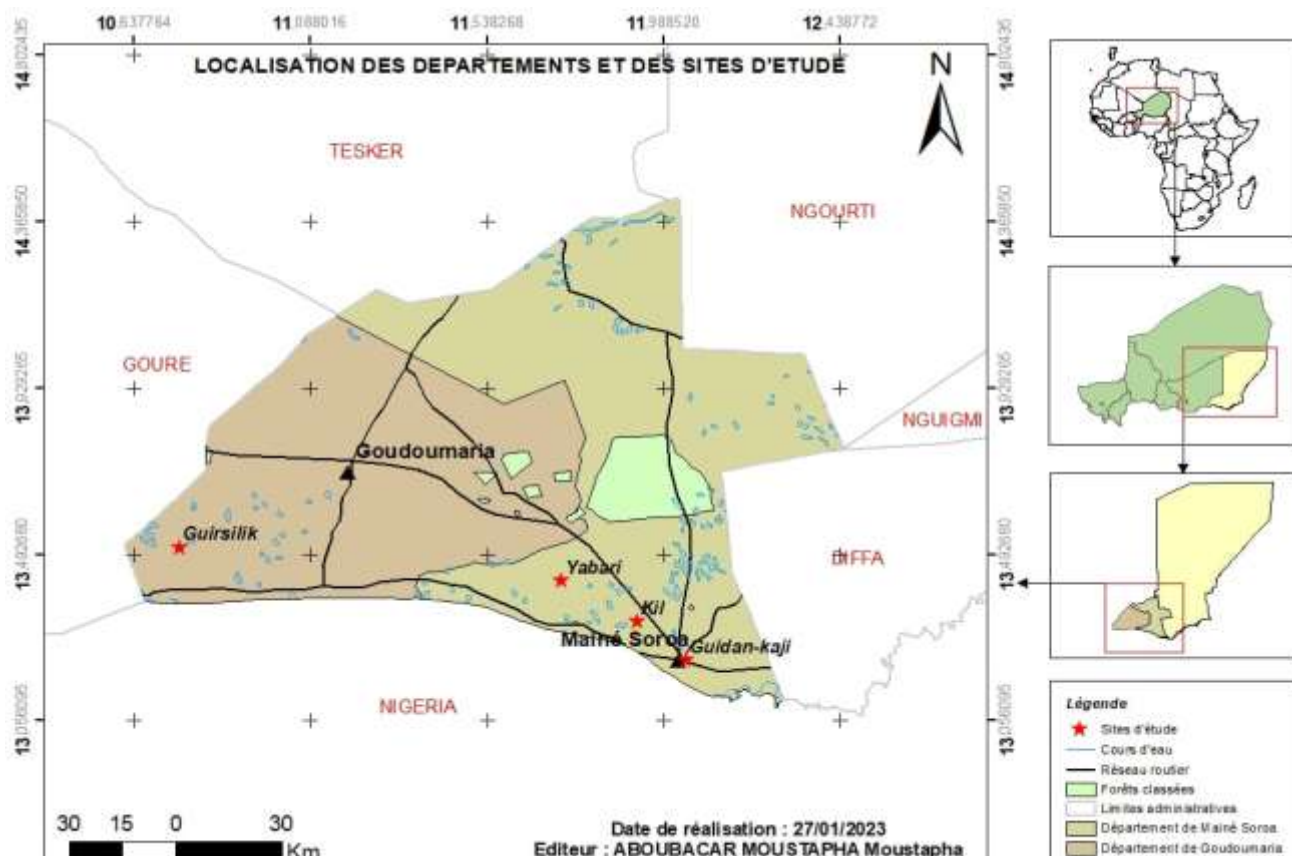


Figure 1:- Carte de localisation des sites d'étude dans le système oasien du Manga.

Tableau 1:- Détermination des paramètres physico-chimiques du sol.

Paramètres	Méthodes
pH-eau	Mesure directe au pH-mètre suivant un rapport sol/solution d'extraction de 1/2,5
Carbone organique total (Cot)	Méthode Walkley & Black[22] a été utilisée. Les résultats sont exprimés en mg. g-1 ou (%)
Azote total (Nt)	Méthode de Kjeldahl [23]. Les résultats sont exprimés en mg. g-1 ou (%)
Phosphore assimilable (Pass)	Méthode d'Olsen modifiée par DABIN. Les résultats sont exprimés en mg.kg-1
Phosphore total (Ptotal)	Méthode d'extraction par acide nitrique. Les résultats sont exprimés en mg.kg-1
Fractions granulométriques	Méthode de la pipette de Robinson [24]

Analyses statistiques des données

Les données obtenues des analyses du sol ont été saisies sur le tableur Excel. La normalité des données a été testée par le test de Shapiro-Wilk au seuil de 5% puis des tests paramétriques ANOVA (One Way) et les tests non paramétriques de Kruskal -Wallis ont été effectués avec le logiciel R version 4.0.2 pour la comparaison des moyennes au seuil de significativité de 5%. Une classification post hoc a été effectuée au moyen du test de Duncan pour ANOVA et celui de Wilcoxon pour le test de Kruskal-Wallis. Une analyse en composante principale (ACP) a été faite pour synthétiser les variables et les individus étudiés.

Résultats:-

Classes granulométriques des sols dans le système oasien du Manga

Le Tableau 2 présente les caractéristiques granulométriques des sols de quatre types d'occupations des sols dans le système oasien du Manga.

Tableau 2:- Classes granulométriques des sols des édifices dunaires et des sols de cuvettes du Manga.

Occupation des sols	Profondeur	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers	Texture
		$\phi < 2 \mu\text{m}$	$2 < \phi < 20 \mu\text{m}$	$20 < \phi < 50 \mu\text{m}$	$50 < \phi < 100 \mu\text{m}$	$100 < \phi < 200 \mu\text{m}$	$200 < \phi < 500 \mu\text{m}$	
CEP	0-20 cm	19,99±0,82a	23,04±0,78a	24,12 ± 0,69a	12,75±0,44e	19,09±0,50e	0,44±0,04a	Limono-argileuse
DT (19ans)		0,53 ± 0,07bc	1,93±0,62b	2,50 ± 0,50d	56,24±4,55b	38,78±4,80c	0,00±0,00b	Sableuse
DT (3ans)		0,13 ± 0,04c	0,50±0,19c	4,83 ± 0,99b	38,11±8,29d	55,82±8,82a	0,60±0,39a	Sableuse
BF-PN		0,66 ± 0,03b	2,45 ± 0,07b	2,68 ± 0,16cd	49,88±4,46c	44,27±0,31b	0,05±0,03b	Sableuse
DV		0,12 ± 0,04c	2,25±0,37b	3,30±0,12c	61,90±2,26a	32,82±1,82d	0,00±0,00b	Sableuse
Probabilité		<2e-16***	<2e-16***	<2e-16***	2,89e-15***	5,184e-05***	3,91e-06***	
CEP	20-40 cm	17,99±0,41a	20,84±0,55a	23,36 ± 0,36a	14,24±0,74d	22,86±0,36d	0,69±0,02a	Limono-argileuse
DT (19ans)		0,68±0,09b	2,57±0,27b	2,87±0,43c	57,53±7,22b	36,31±7,32b	0,01 ± 0,03b	Sableuse
DT (3ans)		0,12±0,03c	0,61 ± 0,25d	4,76 ± 1,13b	28,30±4,63c	65,37±5,34a	0,82±0,36a	Sableuse
BF-PN		0,67±0,09b	2,11±0,23bc	3,18 ± 0,14c	57,16±1,73b	36,80±1,74b	0,07±0,07b	Sableuse
DV		0,10 ± 0,03c	1,19 ± 0,45c	3,24 ± 0,13c	63,69±2,85a	30,99±2,28c	0,00±0,00b	Sableuse
Probabilité		<2e-16***	<2e-16***	<2e-16***	<2e-16***	7,656e-05***	2,44e-09***	
CEP	40-60 cm	16,19±0,65a	19,66±0,60a	23,47 ± 0,91a	15,80±0,33e	24,03 ± 0,64d	0,82 ± 0,05a	Limono-argileuse
DT (19ans)		0,56±0,19b	2,58±0,27b	2,84±0,36c	57,6±7,44b	36,35 ± 7,52c	0,04 ± 0,11b	Sableuse
DT (3ans)		0,14±0,02c	0,49±0,14d	3,88±1,29b	30,96±6,9d	63,92 ± 5,63a	0,69 ± 0,55a	Sableuse
BF-PN		0,59±0,06b	2,05±0,22c	2,57±0,07c	50,28±1,55c	44,41 ± 1,88b	0,07 ± 0,03b	Sableuse
DV		0,10±0,03c	1,96±0,45c	3,24±0,13bc	63,69±2,85a	30,99 ± 2,28c	0,00 ± 0,00b	Sableuse
Probabilité		<2e-16***	<2e-16***	<2e-16***	1,42e-14***	7,34e-13***	5,89e-06***	
CEP	60-80 cm	0,55±0,03a	1,43±0,06c	4,87±0,17a	44,77±0,12b	46,69±0,16b	1,68 ± 0,09a	Sableuse
DT (19ans)		0,58±0,18a	2,58±0,27a	2,84±0,36b	57,62±7,42a	36,32±7,52c	0,05 ± 0,11c	Sableuse
DT (3ans)		0,14±0,01b	0,67±0,19d	4,63±1,36a	35,96±1,87c	57,81±1,11a	0,61 ± 0,30b	Sableuse
BF-PN		0,64±0,07a	2,48±0,19a	3,04±0,20b	48,11±3,70b	45,65±3,24b	0,07 ± 0,06c	Sableuse

Occupation des sols	Profondeur	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers	Texture
		$\phi < 2 \mu\text{m}$	$2 < \phi < 20 \mu\text{m}$	$20 < \phi < 50 \mu\text{m}$	$50 < \phi < 100 \mu\text{m}$	$100 < \phi < 200 \mu\text{m}$	$200 < \phi < 500 \mu\text{m}$	
DV		0,12±0,04 b	2,14± 0,47b	3,25±0,12 b	62,67±2,8 5a	31,81±2,2 9c	0,00 ± 0,00c	Sableux e
Probabilité		1,35e-10 ***	3,34e-11 ***	1,52e-05 ***	7,437e-05 ***	8,976e-05 ***	1,12e-15 ***	
CEP	80-100 cm	0,48±0,03 b	1,46±0,04 c	5,12±0,08 a	44,58±0,4 9c	46,86±0,39 b	1,47±0,05 a	Sableux e
DT (19ans)		0,50±0,11 b	2,58±0,27 a	2,84±0,63 b	57,45±7,3 9b	36,57±7,4 7c	0,04±0,04 c	Sableux e
DT (3ans)		0,09±0,01 c	0,49±0,27 d	4,76±0,53 a	25,83±6,7 2d	67,74±6,3 5a	1,06±0,61 b	Sableux e
BF-PN		0,59±0,02 a	2,30±0,13 ab	2,92±0,33 b	49,10±1,7 2c	45,00±1,8 9b	0,07±0,01 c	Sableux e
DV		0,10±0,03 c	1,19±0,45 b	3,24±0,13 b	63,69±2,8 5a	30,99±2,2 8c	0,00±0,00 c	Sableux e
Probabilité		4,6e-14 ***	2,29e-11 ***	3,18e-12 ***	1,05e-11 ***	1,12e-11 ***	1,27e-09 ***	

CEP : cuvette à eau profonde ; DT : dune traitée ; BF-PN : parcours naturel sur bas-fonds ; DV : dune vive. Les chiffres suivis des mêmes lettres sur la colonne pour une épaisseur considérée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

L'analyse des classes granulométriques des sols du système oasien montre que la granulométrie des sols varie significativement ($P < 0,0001$) en fonction des types d'occupations des sols peu importe la profondeur considérée (Tableau 2). L'analyse granulométrique dans les 60 premiers centimètres (horizons 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm) fait ressortir que pour les sols de cuvettes à eau profonde « CEP » les éléments fins (argiles + limons fins + limons grossiers) sont dominants (>65%), les sables (fins + moyens) représentent 30% et les sables grossiers représentent moins de 1% ; ces sols présentent une texture limono-argileuse. Alors que pour les sols dunaires bruns rouges subarides des parcours naturels dans les bas-fonds (BF-PN), des dunes traitées (DT) et des dunes vives (DV), la granulométrie est dominée par les sables fins et moyens totalisant plus de 90% ; les sables grossiers comptent pour moins de 1%, ces sols sont qualifiés de sols sableux. Après les 60 premiers centimètres, les teneurs en éléments fins (argiles, les limons fins et grossiers) pour tous les types d'occupation de sols (cuvettes, bas-fonds et dunes) sont inférieurs à 7 % alors que les sables (fins et moyens) avoisinent les 90%, A cette profondeur, les sols présentent une texture dite sableuse. La Figure 2 présente la distribution des variables classes granulométriques des sols ainsi que les occupations des sols étudiés dans le plan factoriel de l'ACP.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de répartir les différentes classes granulométriques selon les échantillons (Figure 2). L'analyse a projeté les 6 classes granulométriques qui représentent les variables initiales dans le plan factoriel de l'analyse en composantes principales. La première composante (axe 1) explique 64,72 % de la répartition des 6 variables initiales en fonction des échantillons. La deuxième composante principale (axe 2) renferme une proportion de 29,31 % des informations. Le pourcentage cumulé de ces deux axes est de 94,03 %. L'analyse du graphique fait ressortir que les variables qui traduisent la texture fine (Argiles, Limons fins et limons grossiers) sont liés à la première composante tandis que les variables Sables moyens et Sables grossiers qui induisent la texture grossière sont plus liés à la deuxième composante. La variable Sables fins qui est la transition entre la texture fine et la texture grossière est moyennement lié aux 2 axes (1 et 2). Néanmoins, cette variable semble plus proche de l'axe 1. Dans l'ensemble toutes les variables sont très bien représentées dans l'ACP. Les variables (argiles, Limons fins et Limons grossiers) expliquant la texture fine sont positivement corrélées à l'axe 1 d'une part et d'autre part elles sont très bien corrélées entre elles. Les variables Sables moyens et Sables grossiers. Les Sables fins sont négativement corrélés surtout à la première composante mais aussi très faiblement à l'axe 2. L'augmentation de la proportion en sables fins induirait une diminution des proportions des éléments fins (Argiles, Limons fins et Limons grossiers) et dans une moindre mesure celles des éléments grossiers (Sables moyens et Sables grossiers).

La projection des unités d'occupation des sols dans le plan factoriel de l'ACP fait ressortir un groupe distinct constitué des sols limono-argileuse des cuvettes à eau profonde (CEP) qui sont liés à la première composante. Un

deuxième groupe est formé des sols sableux issus des parcours naturels se trouvant dans les bas-fonds (BF-PN). Il est négativement lié à la composante 1. Le troisième groupe est formé des sols sableux d'anciennes dunes traitées (DT_{19ans}) et les sols des dunes vives (DV), ce dernier groupe est négativement lié à la composante 2 et un quatrième groupe formé par les sols de jeunes fixations des dunes (DT_{3ans}) qui sont positivement liés à la composante 2.

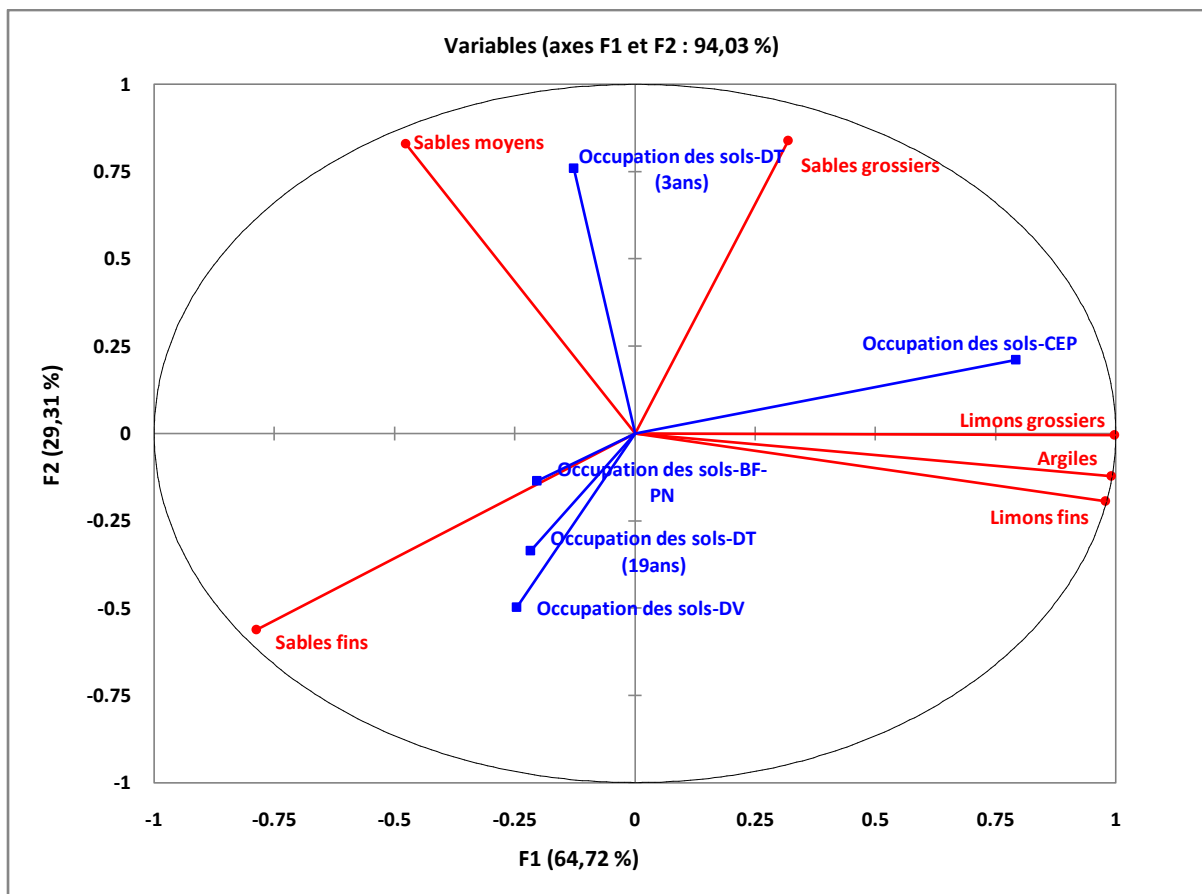


Figure 2:- Distribution des classes granulométriques des sols dans le plan factoriel de l'ACP.

Caractéristiques chimiques des sols dans le système oasien du Manga

Le

Tableau 3 présente les caractéristiques chimiques des sols des quatre types d'occupations des sols dans le système oasien du Manga.

Tableau 3:- Caractéristiques chimiques des sols des édifices dunaires et des sols de cuvettes du Manga.

Occupation des sols	Profondeurs	pH (1/2,5)	eau C (%)	N (%)	C/N	P total (mg/kg sol)	P ass (mg/kg sol)
CEP	0-20 cm	7,76±0,01a	4,37±0,04a	0,45±0,00a	9,79±0,09d	26,18±0,98a	16,40±0,98a
DT (19ans)		6,88±0,15b	0,34±0,04b	0,03±0,005b	11,33±0,55c	11,04±3,23b	6,14±1,39b
DT (3 ans)		6,59±0,12c	0,22±0,02c	0,01±0,004d	16,43±0,95b	12,15±2,00b	4,70±0,39c
BF-PN		6,73±0,23bc	0,29±0,007b	0,03±0,00b	10,49±0,22d	7,80±0,90c	6,37±1,26b
DV		6,21±0,06d	0,21±0,01c	0,10±0,00d	21,14±0,79a	7,23±0,19c	4,19±0,40c
Probabilité		3,71e-15***	<2e-16***	<2e-16***	<2e-16***	8,07e-15***	<2e-16***

Occupation des sols	Profondeurs	pH eau (1/2,5)	C (%)	N (%)	C/N	P total (mg/kg sol)	P ass (mg/kg sol)
CEP	20-40 cm	7,72±0,00a	3,88±0,36a	0,40±0,00a	9,73±0,09d	23,45±0,00a	15,48±0,00a
DT (19ans)		6,95±0,15b	0,33±0,03b	0,03±0,00b	10,74±0,63cd	9,36±1,39b	7,71±1,09b
DT (3 ans)		6,63±0,14c	0,16±0,00c	0,01±0,00c	14,04±1,65b	10,13±1,01b	4,73±0,36cd
BF-PN		6,89±0,23b	0,34±0,02b	0,03±0,00b	11,24±0,22c	8,27±0,66c	7,00±1,53c
DV		6,06±0,05d	0,16±0,00c	0,01±0,00c	21,16±1,07a	7,42±0,28c	4,60±0,20d
Probabilité		2,33e-15 ***	<2e-16 ***	<2e-16 ***	2,51e-16 ***	<2e-16 ***	<2e-16 ***
CEP	40-60 cm	7,34±0,00a	2,96±0,08a	0,31±0,00a	9,63±0,27e	21,18±0,00a	12,38±0,00a
DT (19ans)		6,92±0,14b	0,36±0,06b	0,028±0,00b	13,39±0,46b	10,53±2,83b	5,89±1,54b
DT (3 ans)		6,59±0,18c	0,18±0,01c	0,01±0,004c	15,29±0,46d	11,15±1,48b	4,67±0,23c
BF-PN		6,88±0,26b	0,36±0,04b	0,03±0,00b	10,97±0,65c	8,78±0,45cd	6,81±0,55b
DV		6,21±0,18d	0,17±0,01c	0,01±0,00c	22,68±0,5a	8,40±0,62d	4,40±0,53c
Probabilité		1,13e-09 ***	<2e-16 ***	<2e-16 ***	<2e-16 ***	4,81e-13 ***	9,7e-15 ***
CEP	60-80 cm	7,54±0,03a	0,32±0,01a	0,03±0,00a	9,84±0,41d	20,18±0,00a	11,30±0,00a
DT (19ans)		6,99±0,36b	0,33±0,02a	0,03±0,00a	11,61±0,78c	10,0±2,64b	5,55±1,59bc
DT (3 ans)		6,55±0,09c	0,19±0,03b	0,01±0,004b	15,83±0,63b	10,72±1,73b	4,90±0,52c
BF-PN		7,10±0,09b	0,34±0,01a	0,03±0,004a	11,28±0,81c	8,06±0,80c	6,09±0,78b
DV		6,31±0,08d	0,17±0,00b	0,01±0,00b	21,08±1,54a	7,18±0,8c	4,39±0,36d
Probabilité		2,17e-11 ***	5,88e-12 ***	4,34e-14 ***	<2e-16 ***	4,51e-13 ***	1,5e-12 ***
CEP	80-100 cm	7,29±0,01a	0,18±0,03c	0,02±0,00ab	9,15±0,31d	21,01±0,40a	12,20±0,40a
DT (19ans)		6,94±0,1b	0,35±0,03a	0,025±0,0a	13,78±0,7c	9,87±2,06bc	5,82±1,54b
DT (3 ans)		6,48±0,17c	0,25±0,02b	0,015±0,0b	16,66±0,6b	10,66±1,96b	4,73±0,26c
BF-PN		7,0±0,06b	0,33±0,07a	0,025±0,00a	13,21±0,4c	8,43±0,71cd	6,24±0,83b
DV		6,38±0,20c	0,17±0,07c	0,01±0,00c	21,50±1,3a	6,96±0,28d	4,21±0,28c
Probabilité		5,05e-11 ***	1,77e-08 ***	7,97e-06 ***	3,59e-05 ***	1,33e-14 ***	3,58e-14 ***

CEP : cuvette à eau profonde ; DT : dune traitée ; BF-PN : parcours naturel sur bas-fonds ; DV : dune vive. Les chiffres suivis des mêmes lettres sur la colonne pour une épaisseur considérée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

Le pH des sols dans le système oasien du Manga dans le système oasien du Manga

Le

Tableau 3 présente la variation du pH des sols sous divers types d'occupations dans le système oasien du Manga suivant les profondeurs du sol. L'analyse de données fait ressortir une variation hautement significative du pH en fonction du type d'occupation de sol alors que la profondeur n'a pas influencé le pH. Cette valeur de pH varie de 6,06 pour les dunes vives « DV » à 7,76 pour la cuvette à eau profonde « CEP ». Des valeurs de pH faiblement

basiques ont été enregistrées sur des sols de cuvettes, le pH est dans la gamme proche de la neutralité pour les parcours naturels sur bas-fonds « BF-PN » et les anciennes dunes traitées « DT (19ans) ». Le pH est faiblement acide au niveau des dunes traitées « DT (3ans) » et des dunes vives « DV ».

Les teneurs en carbone organique et en azote des sols dans le système oasien du Manga

L'analyse des résultats (

Tableau 3) montre que les concentrations en carbone organique et en azote de ces sols sont influencées par le type d'occupation de sol mais aussi pour l'occupation de sol « CEP » ces teneurs présentent un gradient sur la surface. Ces concentrations dans les cuvettes ont varié respectivement de 4,37% et 0,45% sur les premiers 20 centimètres à 0,18% et 0,02% pour l'horizon 80-100cm. Des teneurs très faibles (0,5%) de carbone organique et (0,1%) d'azote sont enregistrées dans les sols des parcours naturels sur bas-Fonds « BF-PN », des dunes traitées « DT (19ans) », DT (3ans) et des dunes vives « DV ». Le rapport C/N ne varie pratiquement pas avec la profondeur quel que soit le type d'occupations des sols dans la mesure où le carbone organique et l'azote ont les mêmes tendances. Le rapport C/N est proche de 10 dans les sols des cuvettes, alors qu'ils sont compris entre 10 et 14 pour les sols de dunes couvertes (dunes traitées et parcours naturels). Au niveau des dunes vives, ils sont compris entre 15 et 22.

Les teneurs en phosphore total et en phosphore assimilable des sols dans le système oasien du Manga

Les teneurs en phosphore totale et assimilable des sols du système oasien (

Tableau 3), sont influencées par le type d'occupation de sol. Cependant, ces valeurs ne semblent pas être influencées par la profondeur de prélèvement. Les teneurs en phosphore total ont significativement varié de 26,18 mg/kg au niveau des cuvettes (CEP) à 6,98 mg/kg pour les sols des dunes vives (DV). Des valeurs proches de 10 mg/kg sont notées pour les dunes traitées anciennes et récentes alors que les parcours naturels sur bas-Fonds (BF-PN) présentent des quantités similaires à celles des dunes vives. Les teneurs en phosphores assimilables et totales suivent les mêmes tendances. Elles ont varié de 16,40 mg/kg sous cuvettes à 4,19 mg/kg sous dunes vives. Toutefois les dunes traitées (DT) et les parcours naturels sur bas-fonds (BF-PN) présentent des teneurs similaires intermédiaires de l'ordre 6,5 mg/kg. La Figure 3 présente la distribution des variables paramètres chimiques des sols étudiés dans le plan factoriel de l'ACP.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de regrouper les 6 paramètres chimiques qui représentent les variables initiales en 2 variables synthétiques ou composantes principales. La première composante (F1) explique 78,85 % de la répartition des 6 variables initiales. La deuxième composante principale (F2) renferme une proportion de 15,31 % des informations. Le pourcentage cumulé de ces deux axes est de 92,58 % (Figure 3).

Le graphique de l'ACP montre que les variables de la fertilité et le pH des sols sont fortement corrélées à la première composante (F1) alors que la variable Carbone/Azote (C/N) traduisant l'état de la minéralisation de la matière organique dans le sol est liée à la première composante (F1) et la deuxième composante (F2). Toutes les variables sont bien représentées dans le plan de l'ACP. Le carbone organique et l'azote total sont fortement liés. De même que le phosphore total et le phosphore assimilable sont fortement liés. Le pH est faiblement lié aux autres variables de la fertilité. Le plan fait ressortir un groupe des sols positivement corrélés à la dimension 1, il s'agit des sols limono-argileux des cuvettes à eau profonde témoignant des valeurs relativement élevées de paramètres du carbone, de l'azote et des phosphores (assimilable et total). Un deuxième groupe constitué des sols de fertilité médiocre et faible minéralisation de la matière organique, il s'agit des sols sableux des récentes dunes traitées (DT_{3ans}). Un troisième groupe de sols s'est formé positivement au tour de la composante 2, il s'agit de sols des dunes vives (DV) à fertilité très basse et une minéralisation très faible de la matière organique. Un quatrième groupe s'est formé au tour de la dimension 2, ce groupe est positivement corrélé à cet axe, il comprend des sols sableux des dunes traitées anciennes (DT_{19ans}) et des parcours naturels sur les bas-fonds (BF-PN) à fertilité relativement médiocre et un taux de minéralisation de la matière organique moyen.

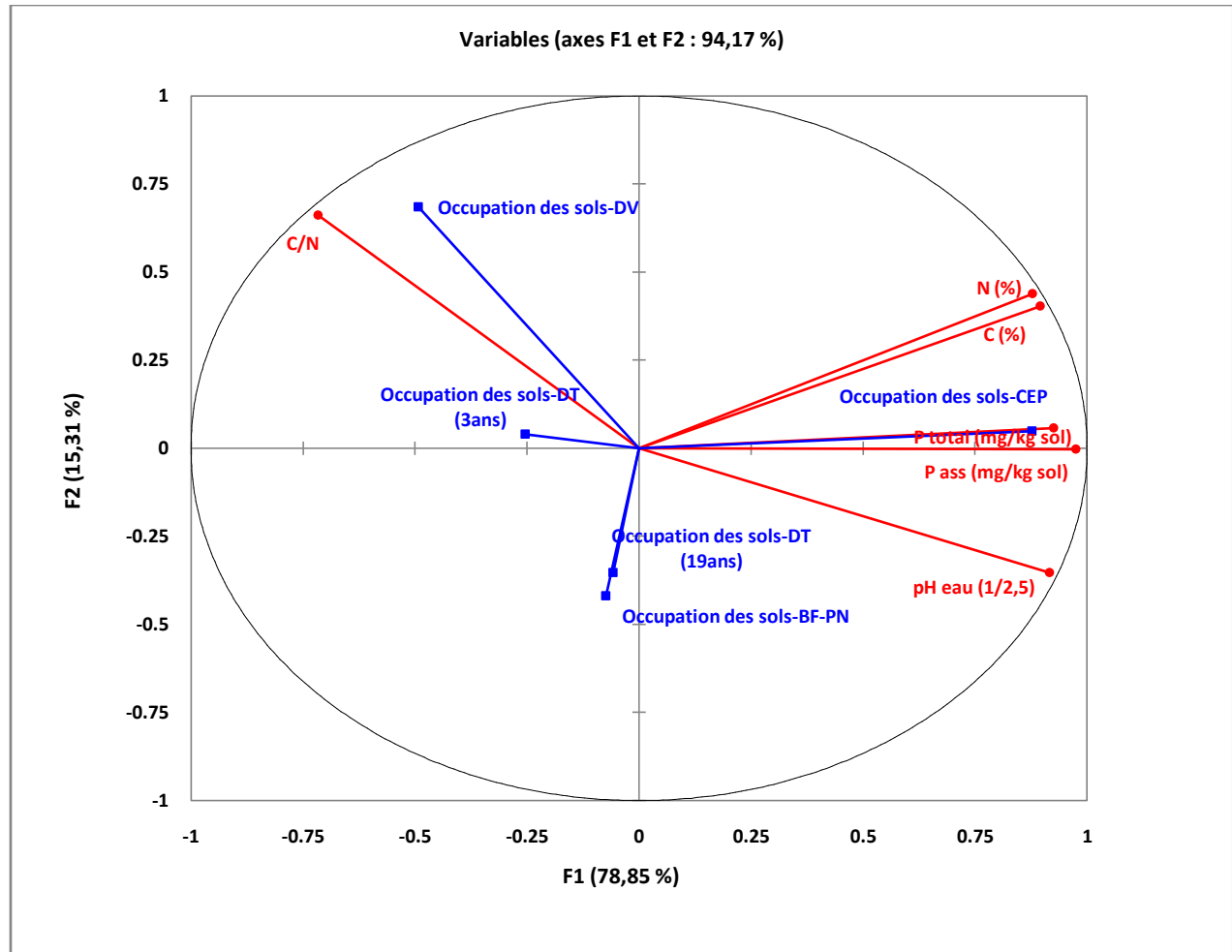


Figure 3:- Distribution des paramètres chimiques des sols dans le plan de l'ACP.

Discussion:-

Caractéristiques physiques des sols dans le système oasien du Manga

La granulométrie des sols des édifices dunaires est influencée par l'état de couverture du sol. Les sols des cuvettes sur les soixante (60) premiers centimètres sont caractérisés par une granulométrie dominée par les éléments fins, les limons représentés suivis par les argiles. Ces sols sont dits à texture limono-argileuse [25], ils sont moins filtrants et lourds et présentent une susceptibilité à l'engorgement faisant d'eux des sols à hydromorphie temporaire [15]. Cependant, entre 60 et 100 cm, les sols des cuvettes se sont considérablement appauvris en éléments fins (argiles et limons). A cette profondeur, les sols des cuvettes sont de texture sableuse et sont semblables aux sols dunaires (parcours naturels, dunes traitées et dunes vives) sur l'ensemble de la profondeur analysée (0-100cm). La composition granulométrique des sols dunaires du système oasien du Manga dans le sud-est du Niger est classée dans la gamme des sols à texture grossière. La proportion de sables (sable fins et sables moyens) est supérieure à 85%. La forte présence de ce sable dans les différents horizons leur confère un caractère filtrant et léger, une faible capacité de rétention d'eau et une forte susceptibilité à l'érosion éolienne [3], [8], [26].

Caractéristiques chimiques des sols dans le système oasien du Manga

Le pH du sol est un élément très important dans l'appréciation de la qualité et de l'aptitude d'un sol en ce sens qu'il gouverne l'activité des micro-organismes telluriques et la nutrition des plantes (Farah et al., 1979) dans [27]. Le pH des sols dans le système oasien du Manga varie selon qu'il s'agisse des cuvettes et bas-fonds, ou des dunes. Les sols des cuvettes oasiennes présentent des valeurs de pH plus élevées de l'ordre de 7,76 pouvant être qualifiées de faiblement alcalines selon les normes de la FAO [25]. Pour les sols bruns rouges subarides des parcours naturels des bas-fonds, des dunes traitées et des dunes vives, les valeurs de pH sont restées inférieures à celles mesurées au niveau des cuvettes. Des valeurs proches de la neutralité ont été mesurées sur les parcours naturels et

les dunes traitées alors que les sols des dunes vives complètement dénudées ont affiché des valeurs de pH entre 6,06 et 6,30; ces sols sont donc faiblement acides. Ces valeurs de pH sont dans la même gamme que ceux trouvées par [28], [29] dans cette partie orientale du Niger. Sur les sols dunaires, il ressort que l'état de la couverture végétale des sols a influencé le pH, en ce sens que les dunes couvertes présentent des valeurs de pH légèrement supérieures à celles des dunes dénudées. En effet la couverture végétale permet une amélioration de la fertilité du sol à travers incorporation de la matière organique morte. Le pH est positivement corrélé aux paramètres physico-chimiques de la fertilité en occurrence le carbone organique total, l'azote total et le phosphore assimilable ainsi que les éléments fins (argiles + limons fins) dans ces sols. Une relation similaire a été trouvée dans une étude sur les sols agricoles au Maroc par [27].

Dans l'ensemble, la fertilité chimique des sols traduite ici par les teneurs en carbone organique total, l'azote total et le phosphore assimilable est fortement dépendante des types de sol et leur occupation. Les sols limono-argileux des cuvettes présentent les teneurs les plus importantes en carbone organique et en azote que les sols sableux des dunes dégradées et non dégradées. Les teneurs de carbone organique sont comprises entre 2 et 5% sur les 60 premiers centimètres des sols des cuvettes ; ces valeurs sont largement au-dessus du seuil de 0,6% de pauvreté organique selon la FAO alors que les teneurs en carbone organique des sols dunaires bruns rouges subarides sont globalement inférieurs à ce seuil critique [25] sur l'ensemble du profil analysé (0-100cm). La déficience en carbone organique des sols sableux dunaires s'explique d'une part par le faible taux de débris végétaux au sol. Ainsi, [30] a noté que la teneur en matière organique du sol baisse lorsqu'on passe des sols sous forêt aux sols sous savane. [31] a rapporté que la teneur en matière organique est positivement corrélée avec la teneur en éléments fins (argiles et limons) et inversement avec la teneur en sable. Ainsi, les sols avec une teneur en éléments fins (argiles et limons) appréciable ont alors tendance à avoir une teneur élevée en matière organique, par conséquent la texture fine du sol est fortement corrélée à la teneur en matière organique du sol [30]. Dans l'ensemble pour les sols sableux des dunes vives, les teneurs en carbone obtenus dans cette étude sont dans la gamme de 0,1 à 0,16% rapportée par [19], [20] pour les sols brun rouge peu différenciés dans le Niger oriental. Toutefois les teneurs obtenues sur les dunes traitées et les parcours naturels de l'ordre de 0,3% témoignent d'une amélioration du taux de carbone à travers la restitution de la matière organique au sol via la litière.

Les teneurs en phosphore total et assimilable ont été significativement plus élevées pour les sols de texture limono-argileuse de cuvettes que les sols sableux peu importe l'état de la couverture végétale. Ces valeurs en phosphore assimilable ont été relativement plus faibles, proches de 5 mg/kg au niveau des sols de dunes dégradées non couvertes. Les teneurs élevées de phosphore enregistrées sur les sols de cuvettes s'expliquent par la présence des particules fines (argiles limons) et de la matière organique. Contrairement les valeurs observées pour les sols sableux de dunes sont liées à la pauvreté minérale et en matière organique de sables éoliens dont ils sont issus. Dans la zone d'étude, [28] a noté des valeurs de phosphore assimilable proche de 5 mg/kg pour les dunes partiellement fixées et 4 mg/kg pour les dunes vives. Des valeurs plus faibles, de l'ordre de 2,8 mg/kg ont été notées sur des sols sableux dunaires des pays du CILSS par [32]. Les dunes dégradées complètement dénudées du Manga présentent des teneurs de phosphore assimilable légèrement supérieures (4 à 5 mg kg⁻¹) que ceux des autres parties du pays. Cette situation s'explique par la position de cette zone par rapport à la grande dépression de Bodélé dans le bassin Tchadien qui sont connues être la principale source de poussières [33] riche en phosphore des sols sableux. Dans la région sahélienne, des études ont mis en évidence le dépôt d'une importante quantité d'éléments nutritifs suite aux dépôts des poussières. Les quantités déposées sont proches de 1 kg ha⁻¹ a⁻¹ [33].

Globalement, l'ensemble des éléments de fertilité (carbone organique, azote, phosphores) ainsi que le pH du sol présentent un gradient décroissant des horizons de surface vers la profondeur du sol. Cette situation s'explique par l'accumulation des débris organiques provenant du couvert végétal dans les premiers horizons, mieux colonisés par les racines des cultures et des herbacés. [30] a noté cette baisse de carbone du sol avec la profondeur, il nota une forte accumulation de la matière organique sur les premiers centimètres des sols sous forêt et sous savane. Dans l'ouest Niger [34] rapporte une diminution des teneurs de carbone organique et d'azote du sol avec la profondeur sur des sols dunaires sableux cultivés et sous couvert herbacé.

Conclusion:-

A l'issue de cette étude portant sur l'analyse de la variabilité des caractéristiques physico-chimiques des sols de quatre types d'occupations de sols dans le système oasien du Manga, il se dégage une tendance générale qui fait ressortir deux points essentiels : (i) les sols des cuvettes oasiennes à eau profonde sont de texture limono-argileuse du fait des teneurs en éléments fins qui dominent leur granulométrie alors que les sols des dunes qu'elles soient couvertes ou dénudées sont très pauvres en éléments fins (argiles et limons), faisant d'eux des sols sableux à texture grossière. La composition granulométrique est fortement variable avec la profondeur du sol des cuvettes, où la texture

passé de limono-argileuse à sableuse à partir de 60 cm de profondeur du sol; (ii) Les sols de cuvettes présentent les meilleures qualités organiques que ceux des dunes, dans l'ensemble les qualités organiques évaluées présentent un gradient décroissant vers la profondeur du sol. Ce gradient qui est plus accusé pour les sols de cuvettes. A travers les résultats de cette étude, deux principales orientations émergent. La première confirme la place des cuvettes oasiennes en tant qu'entités à fortes potentialités agrosylvopastorales au vu de leurs qualités physico-chimiques appréciables. La deuxième orientation porte sur les traitements des dunes vives qui ont permis d'améliorer très significativement la fertilité des sols.

Références Bibliographiques:-

- [1] K. J.-M. Ambouta, A. D. Tidjani, B. Tychon, et M. K. Barke, « Les cuvettes du Manga, un écosystème unique en milieu semi-aride objet d'une recherche interdisciplinaire et pluri-institutionnelle », *Geo-Eco-Trop*, vol. 42, no 2, p. 245-257, 2018.
- [2] M. K. Barke, K. J.-M. Ambouta, O. L. Manzo, et B. Tychon, « Analyse de l'évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-est du Niger », *Geo-Eco-Trop*, vol. 42, no spécial, p. 259-273, 2018.
- [3] A. D. Tidjani, A. A. Touré, J. L. Rajot, B. Marticorena, et C. L. Biielders, « Flux éolien et dynamique des fronts dunaires dans le Manga, sud-est du Niger », *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, no 28, p. 323-332, 2016.
- [4] A. D. Tidjani, J.-M. K. Ambouta, et C. L. Biielders, « Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées », *Geo-Eco-Trop*, vol. 33, no spécial, p. 81-98, 2009.
- [5] P. Ozer, C. Bodart, et B. Tychon, « Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux », *Cybergeo*, mai 2005, doi: 10.4000/cybergeo.3338.
- [6] A. D. Tidjani, K. J.-M. Ambouta, et C. L. Biielders, « Dynamiques saisonnières des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger oriental », *Geo-Eco-Trop*, vol. 33, no spécial, p. 39-56, 2009.
- [7] C. Valentin, « Sécheresse et érosion au Sahel », *Sécheresse*, vol. 5, no 3, p. 8, 1994.
- [8] C. L. Biielders, J. L. Rajot, et K. Michels, « L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte », *Sécheresse*, vol. 15, no 1, p. 19-32, 2004.
- [9] FAO, Gestion des plantations sur dunes. Document de travail sur les Forêts et la Foresterie en zones arides. ROME, 2011. Consulté le: 2 janvier 2023. [Enligne]. Disponible sur: <https://www.fao.org/3/mb043f/mb043f00.pdf>
- [10] M. M. Assane, A. D. Tidjani, O. L. Manzo, K. J.-M. Ambouta, et C. L. Biielders, « Les cuvettes oasiennes du Manga, Sud-Est Niger : un patrimoine à forte productivité agricole menacé d'ensablement, protégé par la fixation des dunes », *Afr. Sci.*, vol. 18, no 2, p. 102-107, 2021.
- [11] O. L. Manzo, M. Z. Allah, P. Ozer, R. Paul, et A. Mahamane, « La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales », p. 12, 2013.
- [12] X.-R. Li, Hong-Lang, Xiao, Jing-Guang, Zhang, et Xin-Ping, Wang, « Restoration Ecology - 2004 - Li - Long-Term Ecosystem Effects of Sand-Binding Vegetation in the Tengger Desert Northern-2.pdf », *Restor. Ecol.*, vol. 12, no 3, p. 376-390, 2004.
- [13] O. Duran et H. J. Herrmann, « Vegetation Against Dune Mobility », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, no 18, p. 5, 2006, doi: 10.1103/PhysRevLett.97.188001.
- [14] Li Xing-Rong, ZhiShan Zhang, HuiJuan Tan, YanHong Gao, LiChao Liu, et XingPing Wang, « Ecological restoration and recovery in the wind-blown sand hazard areas of northern China : relationship between soil water and carrying capacity for vegetation in the Tengger Desert », *Sci. China Life Sci.*, vol. 57, no 5, p. 539-548, mai 2014, doi: 10.1007/s11427-014-4633-2.
- [15] J.-M. K. Ambouta, Z. Toudjani, G. Maman, et A. Bachir, « Etude sur l'inventaire et la caractérisation pédologique et hydraulique des cuvettes oasiennes dans le Département de Maïné-Soroa : Typologie des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation », AFVP&ONG KARKARA, Niger, Rapport d'étude, 2005. Consulté le: 3 novembre 2022. [Enligne]. Disponible sur: https://reca-niger.org/IMG/pdf/Diffa_Typologie_cuvettes_Karkara-AFVP_2005.pdf
- [16] K. A. K. Kaou, O. L. Manzo, I. D. Guimbo, S. Karim, et R. Paul, « Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Maïné-Soroa », no 120, p. 12053-12066, 2017.
- [17] I. Bio, H. Rabiou, I. Soumana, B. M. Mamoudou, et A. Mahamane, « Étude floristique des formations naturelles à *Vachellia tortilis* subsp. *raddiana* en zone sahélienne du Niger », *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.*, vol. 9, no 2, p. 230-241, 2021.
- [18] Z. Toudjani, A. Bachir, et G. Maman, « Etude sur la Dynamique de l'Ensablement dans le Département de Maïné-Soroa : Cartographie des situations de l'ensablement », AFVP&ONG KARKARA, Niger, 2004.

- [19] G. Bocquier et M. Gavaud, « Etude Pédologique du Niger oriental », Ministère de l'EconomieRurale,Service du Génie Rural, Niger, 1964.
- [20] M. Gavaud, « Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger :essai de systématiquerégionale », CahORSTOMsérPédol, vol. 5, no 3-4, p. 31, 1968.
- [21] Galadima M.M, Tidjani A.D, Bodo B.S, Ambouta J-M.K, et Bagna A.A, « Caracterisation_edapho_floristique_des_d-1.pdf », Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell., vol. 4, no 3, p. 460-470, 2020.
- [22] 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, no 1, p. 29-38, janv. 1934, doi: 10.1097/00010694-193401000-00003.
- [23] J. M. Bremner, « Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method », J. Agric. Sci., vol. 55, no 1, p. 11-33, août 1960, doi: 10.1017/S0021859600021572.
- [24] M. Delaune, M. Reiffsteck, et C. Feller, « L'analysegranulométrique de sols et sédiments à l'aide du microgranulomètre "Sedigraph 5000 ET" :comparaison avec la méthode "pipette Robinson" », CahOrstomSérPédal, vol. 24, no 2, p. 183-189, 1991.
- [25] FAO, « Guide Pour l'Interprétation des Analyses de Sols ». 1992.
- [26] S. Ibrahim, I. Ousseini, et K. J.-M. AMBOUTA, « Analysecomparée et interprétation des caractéristiquesgranulométriques des systèmesdunaires sahéliens et sahariens de l'est du Niger », Geo-Eco-Trop, vol. 33, no n.s, p. 31-38, 2009.
- [27] F. Rafik, N. Saber, F. Zaakour, H. Mohcine, K. Moustarhfer, et C. Marrakchi, « Caractérisationphysico-chimique et estimation de la stabilitéstructurale des sols agricoles de La région Sidi Rahal, Sahel (ChaouiaCôtière, Maroc) », Eur. Sci. J., vol. 11, no 27, p. 48-63, 2015.
- [28] A. S. Madjid, M. M. Aboubacar, et A. D. Tidjani, « Dune fixation by Mulching and palisade improved the ecological restoration of Ambouram Ali dunes (Maine Soroa / Niger) », Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell., vol. 4, no 4, p. 471-483, 2020.
- [29] M. M. Assane, J.-M. K. Ambouta, C. L. Biielders, et A. D. Tidjani, « Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger », Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell., vol. 2, no 4, p. 83-94, 2018.
- [30] B. Dabin, « Les matières organiques dans les sols tropicauxnormalement drainés », CahORSTOMsérPédol, vol. 18, no 3-4, p. 197-215, 1981 1980.
- [31] R. I. Zoghلامي, N. B. Aissa, H. Hamdi, S. MokniTlili, M. N. Khelil, et N. Jedidi, « Minéralisation du carboneorganique et sacorrélation avec la biomasse microbienne dans deux sols agricoles suite à un amendement de bouesrésiduaire », J. News Sci. Biotechnol., vol. 31, no 11, p. 1812-1821, 2016.
- [32] CILSS, Les aptitudes agricoles et pastorales des sols dans les pays du CILSS. 2001. Consulté le: 29 décembre 2022. [Enligne]. Disponible sur: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/72732/1/LesSolsDesPaysDuCILSS.pdf>
- [33] L. Herrmann, K. E. Bleich, et K. Stahr, « Dépôt des poussières sur les sols en Afrique de l'Ouest :Propriétés et source des poussières et influence sur les propriétés des sols et sites », RESEAU EROSION, no 17, p. 93-98, 1997.
- [34] I. Ide, A. A. Toure, B. Hassane, et J. L. Rajot, « Impacts des aménagementsantiérosifs de type surface enherbée sur la fertilité des sols dunaires du sud-ouest Niger », Rev Ivoir Sci Technol, no 39, p. 313-324, 2022.