

L'IMPACT DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LES MATIÈRES ORGANIQUES DE SOLS DE POLDERS, LE CAS DE MAMDI DANS LE LAC-TCHAD

**Wavel MOUAROMBA^{1*}, Gilbert François NGON NGON²,
Abgassi Abdraman ADOUM³ et Elie Constantin BAYIGA²**

¹*Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement, Laboratoire d'Analyse Sols, Eaux et Plantes, BP 5400, Route de Farcha, Tchad*

²*Université de Douala, Laboratoire de Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement, BP 24157, Douala, Cameroun*

³*Université de Ndjamen, Département de Géologie, BP 1117, Tchad*

(reçu le 01 Novembre 2021 ; accepté le 28 Décembre 2021)

* Correspondance, e-mail : leswavellites@gmail.com

RÉSUMÉ

Dans les régions semi-arides, les sols de bas-fonds sont stratégiques pour l'agriculture en vue d'assurer la sécurité alimentaire. Dans le contexte tchadien, la question est de savoir si la matière organique a été modifiée pendant le travail intensif de ces sols. Cette étude vise à contribuer, d'une part, à la caractérisation physico-chimique des polders de Mamdi et, d'autre part, elle propose d'étudier le statut organique de ces sols. Pour atteindre cet objectif, trois modalités ont été étudiées dans le site de Polder de Mamdi : P0T : Site témoin qui n'a pas fait l'objet d'usage, P1 : sous culture de décrue, non irrigué et P2 : sous culture intensive, irriguée. Dans ce dispositif, 11 profils pédologiques ont été creusés et décrits. Les sols ont été creusés jusqu'à 60 cm de profondeur, par incrément de 10 cm. On note aussi que les profils sont touchés par l'hydromorphie avec des taches en couleur, montrant la précipitation de fer ferrique, caractéristique des phénomènes d'oxydo-réduction. Ce qui suggère un drainage plus ou moins mauvais. Les sols étudiés sont classés selon la classification française de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS, 1967) et ont fait, plus tard, l'objet d'un classement dans le système "World Reference Base" (WRB, 2006) défini par la FAO. Les résultats d'analyse des principales caractéristiques physico-chimiques du sol de polder Mamdi, montrent une très faible variabilité de densité apparente (D_a) suivant les modalités étudiées (P0 témoin, P1 non irrigué, P2 irrigué). Les valeurs moyennes sont comprises entre $0,7 \pm 0,1$ à

$0,9 \pm 0,1 \text{ g cm}^{-3}$. Les teneurs en carbone organique du sol sont à des niveaux très variés dans les profils de la modalité et présentent un gradient décroissant avec la profondeur. Le taux le plus élevé ($29,8 \pm 1,7$ à $45,8 \pm 4,7 \text{ gC kg}^{-1} \text{ sol}$) est observé dans les 30 premiers centimètres du site témoin. Les rapports C/N sont aussi à des degrés variés dans les profils et compris entre $10 \pm 0,5$ et $11 \pm 1,5$. Cependant, dans les couches intermédiaires (20-50 cm) de site P1, on note un ratio élevé de C/N ($13 \pm 0,6$ à $14 \pm 2,6$).

Mots-clés : *pratique agricole, impacts, matières organiques, sécurité alimentaire, atténuation et Lac Tchad.*

ABSTRACT

The impact of agricultural practices on organic matter in polders, the case of Mamdi, Lake Chad

In semi-arid regions, lowland soils are strategic for agriculture to ensure food security. In the Chadian context, the question is whether OM has been modified during intensive tillage of these soils. The three sites studied are located in the Bol polders on the northeastern periphery of Lake Chad in the Lake region, northwest of the Sahel zone of Chad. They are located between latitudes $12^{\circ} 20'$ and $14^{\circ} 20'$ North and longitudes 13° and $15^{\circ} 20'$ East. This study aims to contribute, on the one hand, to the physico-chemical characterization of the Mamdi polders and, on the other hand, it proposes to study the organic status of these soils. To achieve this objective, three modalities were studied in the Mamdi polder site : POT : control site that was not used, P1 : under recession cultivation, not irrigated and P2 : under intensive cultivation, irrigated. Soil sampling was carried out at low water levels where the water table fluctuates between 0.5 and 1 meter, except in the control site POT where the water table is very shallow (0.3 m). In this system, 11 soil profiles were dug and described. The soils were dug to a depth of 60 cm, in increments of 10 cm. We also note that the profiles are affected by hydromorphy with rusty ochre spots, showing the precipitation of ferric iron, characteristic of oxidation-reduction phenomena. This suggests a more or less bad drainage. The soils studied are classified according to the French classification of the Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS, 1967) and were later classified in the "World Reference Base" system (WRB, 2006) defined by the FAO. The results of the analysis of the main physico-chemical characteristics of the Mamdi polder soil, show a very low variability of apparent density (D_a) according to the studied modalities (P0 control, P1 non irrigated, P2 irrigated). The average values are between 0.7 ± 0.1 to $0.9 \pm 0.1 \text{ g cm}^{-3}$. SOC contents are at widely varying levels in the

modality profiles and show a decreasing gradient with depth. The highest level (29.8 ± 1.7 to 45.8 ± 4.7 gC kg⁻¹ soil) is observed in the top 30 cm of the control site. C/N ratios also varied widely in the profiles and ranged from 10 ± 0.5 to 11 ± 1.5 . However, in the intermediate layers (20-50 cm) of site P1, a high C/N ratio is noted (13 ± 0.6 to 14 ± 2.6).

Keywords : *agricultural practice, impacts, organic matter, climate change, food security, mitigation and Lake Chad.*

I - INTRODUCTION

Le terme matière organique du sol (MOS) désigne un ensemble de tous les composés contenant le carbone organique (CO) puis issus des résidus organiques (végétaux et animaux) à différents stades de décomposition, synthétisés par voie microbiologique et / ou chimiquement (humus), ainsi que de micro-organismes vivants et morts (biomasse microbienne) et de petits animaux. Les quantités de MOS et de CO sont corrélées [1 - 17]. Il est arbitrairement admis que la MOS est le double du CO dans un sol non cultivé et que dans un sol cultivé, elle est égale à 1.73 fois la teneur en carbone organique [1]. Le sol est l'un des acteurs majeurs de l'atténuation du changement climatique, puisqu'il échange en permanence avec l'atmosphère trois des principaux gaz à effet de serre le CH₄, CO₂ et N₂O [2]. Les sols peuvent être à la fois une source et « puits » de carbone. Les émissions sont principalement attribuables à la combustion fossile et à la modification de l'utilisation des sols, en particulier la déforestation. Cependant, les modes de gestion durable des écosystèmes ont pour résultat d'augmenter le contenu de carbone dans les sols [3 - 18]. Les pressions exercées sur les sols des polders sont de plus en plus multiples et variées du fait de la démographie, de l'augmentation accrue de la demande alimentaire, de l'arrivée massive des réfugiés et des déplacés suite aux menaces récurrentes de bokoharam dans la région du lac, à la reconversion des pêcheurs à l'agriculture sous l'effet des changements de la situation lacustre [21]. Tout ceci pose des problèmes fonciers et des besoins correspondants aux différentes formes d'exploitation de ces polders. Les sols sont soumis à une exploitation intensive de 3 récoltes an⁻¹, la rotation étant basée sur les céréales (maïs/blé) et le maraîchage (fenu grec-fève-tomates) [4]. Ces pressions peuvent avoir des incidences majeures sur le statut organique et la qualité des sols des polders avec des coûts de restauration important. La recherche bibliographique a porté sur l'utilisation et l'exploitation des cartes topographiques (à l'échelle de 1/50.000) [19], géologique de la zone d'étude et les travaux antérieurs qui ont permis à ressortir les généralités de la zone d'étude, le contexte de l'étude et du stock de carbone organique dans les sols et d'effectuer les interprétations et discussions.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Cadre d'étude

Les trois sites étudiés sont localisés dans les polders de Mamdi sur le pourtour nord-est du Lac Tchad dans la région du Lac, Nord-Ouest de la zone sahélienne du Tchad. Ils sont situés entre les latitudes 12° 20' et 14° 20' Nord et les longitudes 13° et 15° 20' Est à moins de dix kilomètres de Bol, chef-lieu de la région du Lac.

II-2. Prélèvement des échantillons

Le matériel d'étude porte sur les échantillons des sols hydromorphes ou alluviaux, soit les fluvisols et les gleysols des polders de Mamdi à Bol, situé sur le pourtour nord-est du Lac Tchad, notamment les premiers 60 cm du sol.



Photo 1 : *Le matériel de l'étude (polders)*

Trois modalités ont été étudiées dans le site de Polder de Mamdi : POT : Site témoin qui n'a pas fait l'objet d'usage, P1 : sous culture de décrue, non irrigué et P2 : sous culture intensive, irriguée. Les prélèvements de sols ont été effectués à l'étiage où le niveau de battement de la nappe oscille entre 0,4 et 1 mètre, sauf, dans le site POT témoin où la nappe est à très faible profondeur (0,3 m). Les échantillons composites sont prélevés aléatoirement dans une grille de 20 m². Le nombre de profils prélevés dans chaque site est indiqué dans le **Tableau 1** ci-après. Au total 66 échantillons ont été prélevés soit 24 échantillons respectivement pour P1 et P2 et 18 échantillons pour POT. Les sols ont été décrits, les couleurs renseignées sur échantillons secs en laboratoire à l'aide du code Munsell.

II-3. Les travaux de terrain

Les travaux de terrain se sont focalisés sur les recherches des sites, leur localisation, la réalisation des profils, leur description, l'échantillonnage et la détermination de la Densité apparente ainsi que les prises de vue. Les prélèvements des échantillons ont été effectués pendant étiage à la tarière par incréments de 10 cm (0-10, 10-20 ... 50-60 cm) dans le profil de chaque sol. Chaque horizon prélevé est un échantillon composite constitué de trois prélèvements.

Tableau 1 : *Profils échantillonnés et distribution des sols dans les sites étudiés*

Site / âge d'usage des sols	N° profils des sols / Nombre d'échantillons		Classification française (CPCS, 1967)	Classification selon la Base de Référence Mondiale (WRB, 2006)
P ₀ T : Témoin	P1T	6	Sols peu évolués, non climatiques, d'apport alluvial, hydromorphes	Fluvisols et Gleysols
	P2T	6		
	P3T	6		
P ₁ : sous culture de décrue, non irrigué / 15 ans	P1MN	6	Sols peu évolués, non climatiques, d'apport alluvial, hydromorphes	Fluvisols et Gleysols
	P2MN	6		
	P1MS	6		
	P2MS	6		
P ₂ : sous culture intensive, irrigué / 15 ans	P1MSB	6	Sols peu évolués, non climatiques, d'apport alluvial, hydromorphes	Fluvisols et Gleysols
	P1MSF	6		
	P1MH	6		
	P1MD	6		

II-4. Les travaux au laboratoire

Toutes les analyses physico-chimiques ont été effectuées au Laboratoire LAMA-US-IMAGO, IRD Dakar. Tous les échantillons ont été séchés à l'air puis tamisés à 2mm. Pour certains un broyage fin (< 200 µm) a été effectué. La répartition des constituants du sol dans les cinq classes granulométriques : argiles (0-2 µm), limons fins (2-20 µm) limons grossiers (20-50 µm), sables fins (50-200 µm) et sables grossiers (200-2000 µm), a été déterminée par la méthode de pipette de Robinson (analyse mécanique). Les mesures de pH et de la conductivité électrique ont été réalisées pour toutes les couches (surfaces et profondes) de sol dans un mélange de solution sol/eau avec un rapport massique solide/liquide (1:2,5) après deux heures de mise en contact sous agitation va-et-vient. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance, communément appelé pH-mètre (pHM82 Radiometer Copenhagen). La mesure de la conductivité électrique qui est un paramètre permettant d'apprécier l'état de la salinité du sol, est effectuée dans la même solution sol/eau (1 :2,5) à l'aide d'un conductimètre (ALF9040). La détermination du carbone organique et d'azote : les échantillons de sols à doser

sont au préalable tamisés et broyés finement (< 200 μm) puis séchés 24 h à l'étuve à 25 °C. Les teneurs en carbone organique et de l'azote total ont été déterminées par combustion sèche grâce à l'analyseur élémentaire FISIONS EA 1108 sous oxygène (O₂) avec comme gaz vecteur l'hélium pur à 870 °C ; l'apport d'O₂ provoque une combustion totale (NF ISO 10694 et NF ISO 13878). La méthode conventionnelle de calcul du stock de carbone. La densité apparente (Da), mesurée in situ est la masse du sol par rapport à son volume apparent (V) et exprimée en g cm⁻³. Elle a été calculée pour les échantillons de sol non perturbés prélevés à l'aide d'un cylindre métallique de 498,5 cm³ (h = 9 cm, r = 4,2 cm), à bord tranchant.

$$Da = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Les valeurs de la Da et les teneurs en C ont été utilisées pour calculer les stocks de C dans ces sols. Les stocks de carbone pour une profondeur fixe représentent la quantité de C dans une couche fixe de sol par unité de surface, exprimés en Méga gramme par hectare (Mg C ha⁻¹). Ils ont été calculés suivant la méthode conventionnelle par couches volumiques (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60) comme étant le produit de la concentration de C (g kg⁻¹), la densité apparente Da (g cm⁻³) et de la profondeur e (cm) par ***l'Équation***

$$S_{S_{couche\ x}} = \sum_{i=1}^n C \times Da \times e \times 0.1 \quad (2)$$

Les sols ne contiennent pas d'éléments grossiers. À cause des différences en termes de densité apparente, afin de permettre une juste comparaison entre les modalités d'une même pratique, les stocks ont ensuite été calculés à masse équivalente de l'horizon 0–30 cm [4]. Pour pouvoir estimer l'impact de pratique agricole sur le statut organique de sols de polder Mamdi, nous avons procédé au calcul de variation de stocks (MgC ha⁻¹ an⁻¹) qui sont obtenues par la différence entre les stocks de carbone de la pratique alternative avec les pratiques de référence, ramenée à la durée de la mise en pratique par la ***Formule*** suivante :

$$\Delta S_{S_{couche\ x}} (\text{MgC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = \left[\frac{S_{0+x} - S_0}{t_{0+x}} \right] \quad (3)$$

où, S_{0+x} : Le stock de carbone de pratique alternative. S_0 : Représente le stock de référence t_{0+x} : la durée de la mise en culture.

Elles sont ensuite exprimées en % selon la ***Formule*** ci-dessous :

$$\Delta S_{S_{couche\ x}} (\%) = \left[\frac{S_{0+x} - S_0}{S_0} \right] \times 100 \quad (4)$$

L'approche synchronique consiste à comparer, à un instant donné, le stock de carbone d'un site sous une pratique alternative menée pendant x années à celui d'un site n'ayant pas subi de modifications de gestion et supposée représenter le temps t_0 du site témoin en système séquestrant, a été utilisée pour évaluer l'effet de pratique agricole sur les stocks de carbone.

II-5. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel RStudio® 3.5.2. Les moyennes de stockage de carbone ont été calculées afin de montrer les différences entre les modalités de pratique agricole. Les analyses de stocks de la couche 0-30cm par masse de terre équivalente et de la couche 0-60 cm ont permis d'étudier leurs variabilité verticale et spatiale à l'échelle de polder suivant les modalités de pratique. L'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour analyser l'effet des traitements. L'ANOVA a été suivie d'un test de comparaison des moyennes des stocks de carbone entre les différentes pratiques à $p < 0,05$ (test de Student Newman Keuls). Une analyse de régression a été effectuée pour rechercher la relation entre certains paramètres physico-chimiques et les stocks de COS.

III - RÉSULTATS

Les horizons de sols des sites étudiés du polder de Mamdi présentent dans l'ensemble des couleurs (en humide) gris très sombre (2.5Y 3/1) dans les 30 premiers centimètres et brun-grisâtre sombre (2.5Y 4/2) dans les horizons sous-jacents. La zone de battement de la nappe phréatique varie entre 30-60 cm de profondeur de l'ensemble des profils observés. La consistance à l'état humide est variable dans les premiers 30 cm, meuble peu plastique et peu collante, puis, peu compact, plastique et collant dans les horizons sous-jacents jusqu'à 60 cm. La structure observée est grumeleuse en surface et polyédrique en profondeur. Les racines de dimension moyenne (Φ 2 et 5 mm) sont abondantes en surface (0-20 cm) et les fines (Φ 1 et 2 mm) deviennent peu à peu très abondantes dans l'horizon 20-40 cm, puis disparaissent dans les horizons 60 cm. La quantité d'éléments grossiers est nulle. La texture est plus argilo-limoneuse et argilo-sableuse dans les horizons de surface ou intermédiaires et argileuse dans les horizons de profondeur.

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des sites étudiés

Site	Profondeur (cm)	Couleur en sec	Texture	Structure	Consistance	Taches	Divers (racine, cailloux)
P ₀ T : Témoin	0 - 10	2.5Y 3/1 gris très sombre	Argilo-sableux	Grumeleuse	Meuble, peu plastique et peu collant	Ogres rouille sur les faces des agrégats.	Racines de dimension moyenne.
	10 - 20	2.5Y 4/1	Argileux	Polyédrique	Peu compact, plastique et collant.		Peu de racines fines.
	20 - 30	gris sombre					
	30 - 40						
	40 - 50						
	50 - 60						
P ₁	0 - 10	2.5Y 3/1 gris très sombre	Argilo-limoneux	Grumeleuse	Meuble, peu plastique et peu collant	Ogres rouille sur les faces des agrégats.	Peu de racines moyennes
	oct-20	2.5Y 4/2 brun-grisâtre sombre	Argileux	Polyédrique	Compact, plastique et collant		
	20 - 30						
	30 - 40						
	40 - 50						
	50 - 60						Pas des racines
P ₂	0 - 10	2.5Y 3/2 brun-grisâtre très sombre	Argilo-limoneux	Grumeleuse	Meuble, peu plastique et peu collant	Ogres rouille sur les faces des agrégats.	Peu de racines fines.
	oct-20						
	20 - 30						
	30 - 40	2.5Y 4/2 brun-grisâtre sombre	Argileux	Polyédrique	Peu compact, plastique et collant		Pas des racines
	40 - 50						
	50 - 60						

On note aussi que les profils sont touchés par l'hydromorphie avec des taches en couleur, montrant la précipitation de fer ferrique, caractéristique des phénomènes d'oxydo-réduction. Les sols étudiés sont classés selon la classification française (CPCS, 1967) [5]. Et ont fait, plus tard, l'objet d'un classement dans le système "World Reference Base" (WRB, 2006) [6]. Ainsi, l'équivalent de ces sols dans le système WRB, sont des Fluvisols et Gleysols à l'exclusion des dépôts récents (*Tableau 1*). Les résultats d'analyse des

principales caractéristiques physico-chimiques du sol de polder, montrent une très faible variabilité de densité apparente (Da) suivant les modalités étudiées (P0 témoin, P1 non irrigué, P2 irrigué). Les valeurs moyennes de Da toutes modalités et horizons confondus varient de $0,7 \pm 0,1$ à $0,9 \pm 0,1$ g cm⁻³ (**Tableau 3**). La granulométrie est dominée par la fraction argileuse (aussi bien en surface qu'en profondeur dans les profils (40,1 à 83,3 %), possédant peu de limons (8,4 à 39,5 %) et d'éléments sableux (5,4 à $23,5 \pm 4,2$). On note une proportion notable de sables ($23,5 \pm 4,2$) dans la couche 0-10 cm de P0 témoin, ce qui pourrait être expliqué par des apports par érosion des dunes entourant ce site. Les pH observés dans les sites étudiés sont relativement variables d'un site à l'autre. Sous P0 témoin, il est neutre ($6,3 \pm 0,7$ à $7,1 \pm 0,4$), dans le P1 non irrigué, il est légèrement alcalin ($7,3 \pm 0,0$ à $8,1 \pm 0,1$) et passe d'un état moyennement acide ($5,2 \pm 0,5$ à $6,6 \pm 0,6$) dans le site irrigué (**Tableau 3**). La conductivité électrique (CE) observée dans les sites étudiés se traduit par un faible degré de salinité de $0,3 \pm 0,0$ à $1,6 \pm 1,0$ dS m⁻¹ sous tous les sites (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Propriétés physiques et chimiques des profils de sols des polders de Mamdi

*Site	Profondeur (cm)	DA g cm ⁻³	Granulométrie (%)			pH H ₂ O	CE dS m ⁻¹	COS g kg ⁻¹	C/N
			Argile	Limon	Sable				
P ₀ témoin	0 – 10	0,9 ± 0,0	59,0 ± 5,1	11,9 ± 2,3	23,5 ± 4,2	7,1 ± 0,4	0,7 ± 0,3	45,8 ± 4,7	11 ± 0,5
	10 – 20	0,8 ± 0,0				6,3 ± 0,5	0,7 ± 0,0	38,3 ± 6,0	10 ± 1,2
	20 – 30	0,8 ± 0,0				6,3 ± 0,6	0,4 ± 0,0	29,8 ± 1,7	11 ± 0,7
	§30 – 40	0,9 ± 0,1				6,3 ± 0,7	0,6 ± 0,0	29,3 ± 1,5	11 ± 0,6
	40 – 50	0,9 ± 0,0	66,0 ± 5,4	12,9 ± 5,6	15,5 ± 7,6	6,8 ± 0,8	0,6 ± 0,0	26,2 ± 1,9	10 ± 0,5
(*n=3)	50 – 60	0,8 ± 0,1				6,9 ± 0,8	0,6 ± 0,0	24,7 ± 2,3	10 ± 1,3
P ₁ non irrigué	0 – 10	0,8 ± 0,0	61	13,4	15,6	8,1 ± 0,1	0,7 ± 0,0	32,7 ± 3,5	10 ± 0,7
	10 – 20	0,8 ± 0,0				7,5 ± 0,0	0,5 ± 0,0	26,1 ± 1,9	11 ± 1,5
	20 – 30	0,8 ± 0,1				7,4 ± 1,0	0,3 ± 0,0	27,7 ± 1,0	14 ± 2,6
	30 – 40	0,8 ± 0,0				7,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0	27,2 ± 1,3	14 ± 0,5
	40 – 50	0,7 ± 0,1	83,3	8,4	5,4	7,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	24,0 ± 2,2	13 ± 0,6
(n=4)	§ 50 – 60	0,7 ± 0,1				6,9 ± 0,0	0,3 ± 0,0	19,2 ± 1,6	12 ± 1,3
P ₂ irrigué	0 – 10	0,8 ± 0,1	40,1	39,5	11,3	6,6 ± 0,6	1,2 ± 0,9	33,2 ± 4,7	11 ± 0,6
	10 – 20	0,8 ± 0,1				5,5 ± 0,5	1,6 ± 1,0	27,2 ± 0,3	10 ± 1,4
	20 – 30	0,9 ± 0,0				5,2 ± 0,5	1,2 ± 0,7	23,8 ± 1,3	11 ± 1,6
	30 – 40	0,9 ± 0,0				5,4 ± 0,7	1,0 ± 0,4	22,5 ± 2,0	11 ± 1,8
	40 – 50	0,9 ± 0,0	64,3	26,5	6,6	5,6 ± 0,7	0,8 ± 0,3	20,8 ± 1,6	11 ± 1,2
(n=4)	§ 50 – 60	0,9 ± 0,1				5,6 ± 0,8	0,7 ± 0,2	18,4 ± 0,9	9 ± 1,8

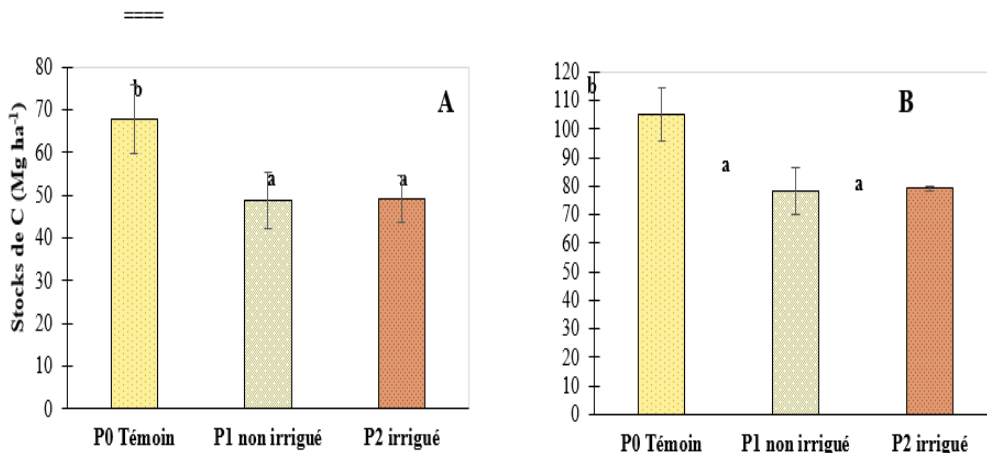


Figure 1 : Stocks de carbone du sol dans la couche (0-30 cm, A) et (30-60 cm, B) pour des modalités étudiées dans le polder de Mamdi (moyennes et erreurs standards)

Les teneurs en carbone organique des sols (COS) observées sont à des niveaux très variés dans les profils de la modalité étudiée et présentent un gradient décroissant avec la profondeur (**Tableau 3**). Le taux le plus élevé ($29,8 \pm 1,7$ à $45,8 \pm 4,7$ gC kg⁻¹ sol) est observé dans les 30 premiers centimètres du site témoin. Le stock de COS le plus élevé dans la couche 0-30 cm se trouve dans le site P0 que ceux des polders mises en cultures. Il n'est cependant pas significativement de différence des stocks de C entre P1 et P2. Les rapports C/N sont aussi à des degrés très variés dans les profils et compris entre $10 \pm 0,5$ et $11 \pm 1,5$. Cependant, dans les couches intermédiaires (20-50 cm) de site P1 on note un ratio élevé de C/N ($13 \pm 0,6$ à $14 \pm 2,6$) (**Tableau 3**). Les valeurs des stocks de carbone observées pour les modalités étudiées sont variables aussi bien dans les horizons de surface (0-30 cm) que pour l'ensemble des profils (0-60 cm). On note une différence significative ($P < 0,05$) entre le site P0 témoin et P1 non irrigué et P2 irrigué (**Figure 3**). Cependant, on n'observe pas une différence significative au seuil 0,05 entre P1 non irrigué et P2 irrigué.

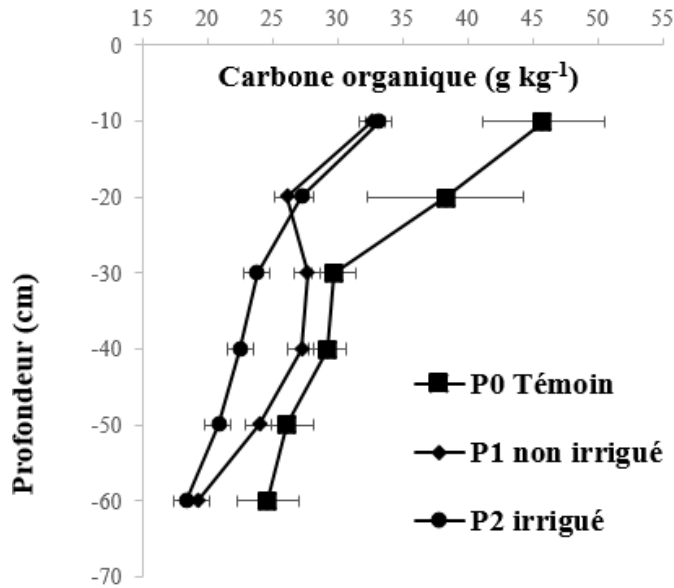


Figure 2 : Moyennes de carbone organique de sols suivi d'erreurs standards dans les profils de polder de Mamdi

IV - DISCUSSION

Au regard de ces résultats, les sols sont marqués par l'empreinte de l'hydromorphie dans l'ensemble des profils décrits, selon la classification [5], ces sols sont peu évolués, non climatiques, d'apport alluvial, hydromorphes. Donc, comme processus pédogénétique majeur, on parlera d'hydromorphie. La couleur grise des sols étant due à l'association de la teinte noire ou gris-noir de l'humus et les taches ocres rouillés des composés du fer. Ces sols hydromorphes sont développés sur des formations quaternaires anciennes de la cuvette tchadienne [7] et sont issus des alluvions lacustres [8]. Ce qui traduit l'absence des éléments grossiers et les accumulations à texture argilo-limoneux, argilo-sableux à argileux. Les structures décrites sont grumeleuses et polyédriques. Ceci relève du fonctionnement du sol. En effet, la structuration grumeleuse résulte de l'activité biologique et racinaire et des éléments nutritifs, d'une bonne aération, d'un bon développement du système racinaire des végétaux et une bonne résistance à l'érosion. Tandis que la structuration polyédrique se fait par la fissuration des argiles et des limons [9]. Cette structure polyédrique est aussi d'une bonne qualité agronomique, mais moins bonne, comparée à la structure grumeleuse. L'empreinte texturale et minéralogique des sols de polder Mamdi varie peu : plus de 95 % d'éléments fins (argile et limon). Ces éléments fins d'origine lacustre dominés par les argiles gonflantes (60 à 80 %) et le comportement de surface tendent à être

celui de sols vertiques [10]. Ceci constitue une contrainte à la bonne réoxydation du volume poral. La faible variabilité de D_a observée dans les couches des profils pourrait être expliquée soit par l'effet du labour, soit par la perte de l'eau et /ou la formation de la structure et de leurs effets combinés. Les valeurs de D_a inférieure à 1 pour ces sols ont été retrouvées aussi par [10]. et peuvent être aussi attribué à l'abondance en matières organiques de ces sols ($45,8 \pm 4,7$ à $18,4 \pm 0,9$ gC kg⁻¹ sol). Le gradient décroissant de la surface vers la profondeur de COS des profils (**Figure 3**), peut s'expliquer par les apports de carbone liés à l'incorporation au sol des débris végétaux lors des opérations de débroussaillage ou au cours du labour. Ce carbone est issu des restitutions organiques (résidus de culture, tige, racines, etc.). Outre, les racines des plantes gênées par la remontée d'eau pendant l'irrigation ou la saison pluvieuse ne descendent plus en profondeur au-delà de 30 cm et s'accumulent dans les horizons supérieurs de 0-20 cm, de sorte que leur décomposition enrichit cet horizon du sol. Il est aussi possible que dans ce polder cultivé les teneurs en carbone résultent simplement d'une accumulation au cours du temps, ou ces teneurs restent constantes du fait des entrées et sorties apportées par la biomasse. Le ratio C/N observé suggère la présence des MO réactives et facilement minéralisables. En revanche, les valeurs ponctuelles élevées de C/N observées dans les horizons sous-jacents, correspondent à des horizons où subsistent des débris végétaux.

Notons que de nombreux facteurs sont susceptibles d'interagir pour accélérer la minéralisation des matières organiques, tels que, l'aération liée au travail du sol, l'assainissement dû au drainage, le relèvement du pH, l'influence de l'irrigation associée aux températures estivales élevées et les apports de fertilisants [11]. Conductivité électrique observée indique que les sols sont non salés. Dans les polders de Bol, les sels solubles s'accumulent sous forme de chlorures de sodium, de potassium, de magnésium, sulfate de sodium, carbonate de calcium. La salinité est dominée par Na⁺ [4 - 8]. Cette faible salinité peut s'expliquer par l'effet de la nappe qui est proche de la surface (30-60 cm) et par le régime hydrique de l'irrigation. Ceci a aussi une incidence sur les valeurs observées des pH relativement bas dues également à l'état acide du profil. Après des dizaines d'année d'exploitation des polders, les stocks moyens de carbones des horizons de surfaces de (0-30 cm) varient entre 49 et 68 Mg de C ha⁻¹. Ces valeurs de stocks de carbone sont nettement supérieures à celles observées dans les sols non hydromorphes des écosystèmes sahéliens par exemple [12] au Bénin présentent une amplitude de 15 à 46 Mg C ha⁻¹ dans la couche de 0-30 cm et [13 - 16] au Sénégal de 11 à 25 Mg C ha⁻¹ dans la couche de 0-40 cm. La diminution des stocks de carbone organique des sols après la mise en culture de polder est certainement liée en grande partie à une activation de la minéralisation des matières organiques du fait de changements

majeurs des conditions pédoclimatiques et du fonctionnement des cycles biogéochimiques au cours des années qui ont suivi l'exploitation du polder. Ajoutons à cela, le défrichage et le labour qui se traduisent par une importante diminution des stocks de carbone de la couche superficielle du sol essentiellement, ainsi que par une augmentation significative de ces stocks dans la couche inférieure de sol. Les valeurs élevées des stocks observées dans P0 témoin peuvent s'expliquer par la situation de non labour, par des apports importants de la biomasse et des conditions d'hydromorphie. Ces dernières entraînent l'accumulation de la matière organique, car sa minéralisation est ralentie par les conditions anoxiques. Après 15 ans d'usage agricole, les stocks organiques de P1 non irrigué et P2 irrigué (0-30 cm) diminuent respectivement $-1,19$ et $-1,16 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, soit 28,1 et 27,5 %, tandis que dans la couche (30-60 cm), on note une diminution annuelle similaires, soit 25,4 et 24,5 % par rapport aux stocks de référence (P0 témoin). En Afrique subsaharienne [13] note dans la couche (0-30cm) de diminution de $-0,15 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ et [14] ont indiqué des variations de stocks de $-9,6$ (0-40 cm) à $14 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (0-100cm). En effet, l'absence de variance, masquant l'effet entre les modalités P1 non irrigué et P2 irrigué traduit l'effet de la mise en culture qui provoque une forte homogénéisation de la couche du sol travaillé.

Ceci se décline par une importante réduction de la variabilité spatiale des teneurs en stocks. L'abondance d'éléments fins (Argile + limon fin), a un effet significatif ($R^2 = 0,87$) sur les stocks en surface (0-30 cm) **Figure 8**. Tandis que dans les couches (30-60 cm), la droite de régression n'est pas significative ($R^2 = 0,2$). [12 - 20] ont observé de résultat similaire avec un $R^2 = 0,89$ dans la savane de l'Afrique de l'Ouest. Cette liaison ne s'explique pas forcément par les stocks de carbone, mais, par l'humification et la protection de la MOS. Les valeurs des stocks de carbone observées pour les modalités étudiées sont variables aussi bien dans les horizons de surface (0-30 cm) que pour l'ensemble des profils (0-60 cm). On note une différence significative ($P < 0,05$) entre le site P0 témoin et P1 non irrigué et P2 irrigué (**Figure 2**). Cependant, on n'observe pas une différence significative au seuil 0,05 entre P1 non irrigué et P2 irrigué. Des valeurs plus élevées sont observées dans P0 témoin ($67,9 \pm 9,4 \text{ MgC ha}^{-1}$) que dans P1 non irrigué ($48,8 \pm 6,5 \text{ MgC ha}^{-1}$) et P2 irrigué ($49,3 \pm 5,5 \text{ MgC ha}^{-1}$). Cette tendance s'observe aussi pour les stocks de 0-60 cm (**Figure 9**) où on note que les stocks cumulés sont presque deux fois que ceux de la couche 0-30 cm.

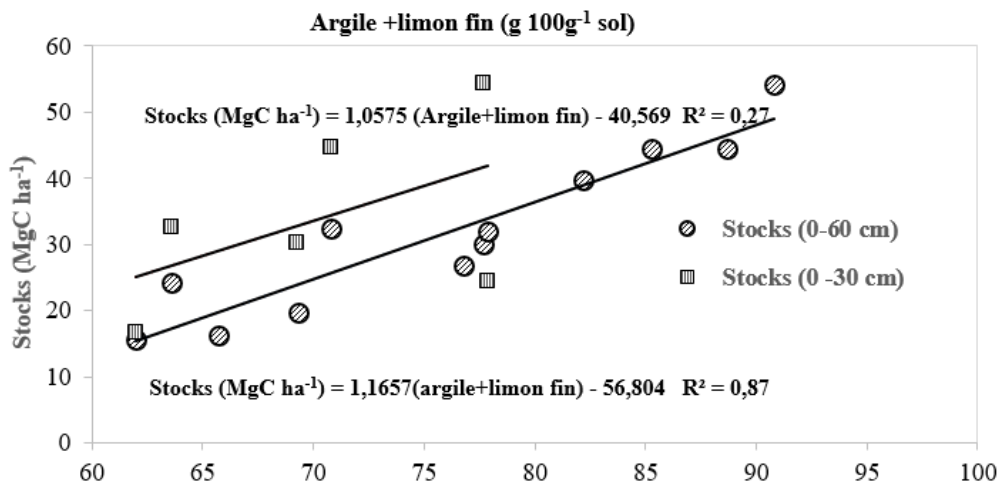


Figure 3 : Relations entre les teneurs en stocks de carbone et la texture

V - CONCLUSION

Le but de notre travail a été d'une part, la caractérisation physico-chimique des polders de Mamdi et, d'autre part, l'étude du statut organique de ces sols. Les sols de polder de Mamdi présentent des caractères chimiques différents de leurs horizons ils sont hydromorphes et faiblement salins. Donc, ce qui oriente cette évolution, est relatif aux conditions d'engorgement total ou temporaire, au niveau de battement de la nappe dans les profils qui façonnent chimiquement les horizons, en particulier, ceux de surface. Le taux le plus élevé ($29,8 \pm 1,7$ à $45,8 \pm 4,7$ gC kg⁻¹ sol) est observé dans les 30 premiers centimètres du site témoin. Le stock de COS le plus élevé dans la couche 0-30 cm se trouve dans le site P0 que ceux des polders mises en cultures. Il n'est cependant pas significativement de différence des stocks de C entre P1 et P2 Le gradient décroissant de la surface vers la profondeur de COS des profils, peut s'expliquer par les apports de carbone liés à l'incorporation au sol des débris végétaux lors des opérations de débroussaillage ou au cours du labour. Ce carbone est issu des restitutions organiques (résidus de culture, tige, racines, etc.). Nous devons insister sur l'exigence actuelle d'appliquer une gestion de conservation de ces sols, une nécessité pour le développement durable des ressources en terres cultivées de la région. L'apport de notre étude a contribué, d'une manière générale, à démontrer une assez bonne conservation du carbone dans les polders de Mamdi de l'écosystème semi-aride sahélien. Nous envisageons caractériser le carbone du sol par la technique de la pyrolyse dans le futur, car cette technique renseigne sur la composition de la matière organique.

RÉFÉRENCES

- [1] - SOULEIMANE SANA, Evaluation de stock de C dans un sol ferrugineux sous l'apport de compost de déchets urbain : Cas de Gampèla au Burkina Faso. Mémoire pour l'obtention du DEA, (2018) 39 p.
- [2] - J. L. JULIEN et D. TISSIER, Rôles du pH, de la CEC effective et des cations échangeables sur la stabilité structurale et l'affinité pour l'eau du sol, *Etude et Gestion des sols*, Vol. 28, (2021) 159 - 179 p.
- [3] - GIEC, Changements climatiques 2014 : rapport de la synthèse : contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève (Suisse), GIEC, (2015) 191 - 208 p.
- [4] - A. A. ABGASSI, Matière organique et stockage du carbone dans les sols de polders de Bol nord-est du lac Tchad dans le contexte de changements globaux en milieu semi-aride. Thèse de doctorat, (2018) 280 p.
- [5] - CPCS, Classification des sols. Travaux CPCS, (1963-1967) 100 p.
- [6] - WRB, World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. *World Soil Resources Reports*, 2nd edition, (2006) 145 p.
- [7] - J. PIAS, Carte pédologique du Tchad à 1/1 000 000, (1970a) 209 p.
- [8] - C. CHEVERRY, Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad : dynamique des sels en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Thèse, Université Louis Pasteur : Strasbourg, (1974) 280 p.
- [9] - A. DELAUNOIS, Y. FERRIE, M. BOUCHE, C. COLIN et C. RIONDE, Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. INRA de Montpellier, (2008) 61 p.
- [10] - M. RIEU, Les polders du lac Tchad : milieu naturel et formation des sols conséquence de la sécheresse, (1975) 33 p.
- [11] - J. BALESDENT, A. MARIOTTI et D. BOISGONTIER, Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science*, 41 (1990) 587 - 596 p.
- [12] - T. CHEVALLIER, T. M. RAZAFIMBELO, L. CHAPUISLARY, M. BROSSARD, Carbone des sols en Afrique Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles publié par l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Institut de recherche pour le Développement. Collection synthèses, Rome, Marseille, (2020) 265 p.
- [13] - P. L. WOOMER, The impact of cultivation on carbon fluxes in woody savannas of Southern Africa. *Water, Air, and Soil Pollution*, 70 (1993) 403 - 412 p.

- [14] - E. FELLER, E. FRITSCH, R. POSS et C. VALENTIN, Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier), (2019) 325 - 348 p.
- [15] - D. BAIZE et B. JABIOL, Guide pour la description des sols, INRA, (1995) 331 p.
- [16] - J. LEHMANN, S. ABIVEN, M. KLEBER, G. PAN, B. P. SINGH, Persistence of biochar in soil. Biochar for Environmental Management : *Science, Technology and Implementation*, 2 (2015) 233 - 80
- [17] - R. J. J. MANLAY, Dynamique de la matière organique à l'échelle d'un terroir agro-pastoral de savane ouest-africaine (sud-Sénégal). ENGREF (AgroParisTech), (2000) 53 - 69 p.
- [18] - J. PIAS, E. GUICHARD, Etude pédologique des rives du lac Tchad de Djimtilo à Bol et du Sillon du Bahr el Ghazal de Massakory à Moussoro. ORSTOM, Paris, (1960) 163 p.
- [19] - C. PIERI, Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, CIRAD-IRAT, (1989) 2-87614-024-1
- [20] - B. H. ELLERT et J. R. BETTANY, Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75 (1995) 529 - 538
- [21] - M. RIEU, Les polders du lac Tchad : milieu naturel et formation des sols, conséquences de la sécheresse, CIRAD-IRAT, (1995) 22 p.