

## GRANULOMÉTRIE ET ÉVALUATION DE LA SALINITÉ DES SOLS DES PARCELLES CULTIVÉES ET NON CULTIVÉES DES POLDERS AGRICOLES SOUS CULTURE DE BLÉ. CAS DE MANDI, BERIM-SUD ET GUINI DANS LA COMMUNE DE BOL EN RÉPUBLIQUE DU TCHAD

Abdoulaye ALLADJABA<sup>1\*</sup>, Andossa LIKIUS<sup>2</sup>  
et Moussa ABDERAMANE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de N'Djamena, Département de Géologie, Faculté des Sciences  
Exactes et Appliquées, Tchad

<sup>2</sup> Université de N'Djamena, Département de Paléontologie, Faculté des  
Sciences Exactes et Appliquées, Tchad

(reçu le 23 Septembre 2023; accepté le 26 Novembre 2023)

\* Correspondance, e-mail : [alladjabdou@gmail.com](mailto:alladjabdou@gmail.com)

### RÉSUMÉ

Depuis des années, les sols de polders agricoles de Mandi, Berim-sud et Guini sont largement exploités pour la culture de blé. Mais ces dernières années, plusieurs parcelles sont abandonnées par les producteurs. En effet, l'irrégularité des pluies, la salinisation et le caractère primitif des pratiques culturales influenceraient la fertilité des sols agricoles de ces polders. Afin d'évaluer les facteurs responsables, la présente étude se propose de déterminer la granulométrie et d'estimer l'état de salinité des sols de parcelles cultivées et parcelles non cultivées ou abandonnées. Les résultats d'analyses de ces sols ont permis de noter que : (I) du point de vue granulométrie, les sols des parcelles cultivées et non cultivées ont une texture argileuse et sont relativement pourvus en matière organique. (II) Du point de vue salinité, les sols des parcelles cultivées ont une conductivité électrique  $CE < 0.2 \text{ mmhos/cm}$ , largement inférieur au seuil de salinité normatif  $CE < 2.5 \text{ mmhos/cm}$ . Par contre, les sols des parcelles non cultivées ont une conductivité électrique  $CE > 2.5 \text{ mmhos/cm}$  relativement supérieur au seuil de salinité mais de loin en deçà des sols très salinisés ( $CE > 40 \text{ mmhos/cm}$ ). Ces résultats montrent que les sols étudiés sont non salinisés à faiblement salinés. III) En clair, du point de vue granulométrie et salinité, les sols de parcelles abandonnées et parcelles cultivées ne présentent aucun danger pour le développement de blé. L'improductivité de sols des parcelles non cultivés serait liée à d'autres facteurs tels que : la faible teneur en azote total ( $N > 1 \%$ ), le taux élevé du

pH > 9 (très basique) et la mauvaise minéralisation de la matière organique. Pour conserver la fertilité des sols agricoles de polders et empêcher la salinité d'atteindre le seuil critique, il est indispensable d'apporter un amendement azoté minéral ou organique et prévenir l'évaporation et la remontée capillaire en augmentant la charge en éléments grossiers des profils culturaux.

**Mots-clés :** *salinité, polder, parcelle, fertilité, granulométrie.*

## ABSTRACT

### **Particle size distribution and assessment of soil salinity in cultivated and uncultivated plots of agricultural polders under wheat cultivation. Case of Mandi, Berim-Sud, and Guini in the Municipality of Bol, Republic of Chad**

For years, the agricultural polder soils of Mandi, Berim-sud, and are extensively exploited for wheat cultivation. However, in recent years, several plots abandoned by producers. The irregularity of rainfall, salinization, and the primitive nature of farming practices could influence the fertility of polder agricultural soils. To assess the contributing factors, this study aims to determine the particle size distribution and estimate the salinity status of cultivated and uncultivated or abandoned plots. The results of the soil analysis revealed that: (I) from a particle size perspective, both cultivated and uncultivated plots have a clayey texture and are relatively rich in organic matter. (II) In terms of salinity, the soils of cultivated plots have an electrical conductivity (EC) < 0.2 mmhos/cm, significantly below the normative salinity threshold (EC < 2.5 mmhos/cm). In contrast, the soils of uncultivated plots have an EC > 2.5 mmhos/cm, relatively higher than the salinity threshold but far below highly saline soils (EC > 40 mmhos/cm). Our results indicate that the studied soils range from non-saline (cultivated plots) to mildly saline (abandoned plots). (III) In summary, from both a particle size and salinity perspective, abandoned and cultivated plots pose no threat to wheat development. The unproductivity of uncultivated plot soils is likely attributed to other factors such as low total nitrogen content (N > 1 %), a high pH level (> 9, highly basic), and poor mineralization of organic matter. To maintain the fertility of polder agricultural soils and prevent salinity from reaching a critical threshold, it is essential to provide mineral or organic nitrogen amendments and mitigate evaporation and capillary rise by increasing the coarse element content in the soil profiles.

**Keywords :** *salinity, polder, plot, fertility, particle size distribution.*

## I - INTRODUCTION

Les sols irrigués des polders agricoles de Bol sont fortement sollicités pour la culture du blé [1, 2]. Au cours des dernières années, de nombreux agriculteurs ont abandonné plusieurs parcelles de ces sols irrigués en raison de rendements faibles [1 - 5]. Des études récentes ont révélé qu'environ 1,8 km<sup>3</sup> d'eau sont utilisées chaque année pour l'irrigation dans le Lac-Tchad [4, 6, 7]. D'autres auteurs ont démontré que l'abandon des terres agricoles dans le Sahel est lié à des facteurs anthropiques et naturels tels que la rareté des pluies, la salinisation et l'insuffisance de techniques culturales [1, 2, 8 - 11]. Environ une parcelle (0.5ha) de terre agricole abandonnée chaque année par les agriculteurs [12]. Ce changement a des répercussions significatives sur la structure, la texture et la composition chimique des sols agricoles, entraînant une réduction durable des rendements [13]. En effet, le blé est la principale culture et l'aliment de base de la population, occupant plus de 60 % des superficies exploitées dans les polders [6, 14]. Ces dernières années, la culture du blé est devenue une source principale de revenus et est également identifiée comme une culture vivrière contribuant à la réduction de la faim et de la pauvreté dans la province du Lac [15 - 17]. Actuellement la quantité de farine importée est de 35 000t/an dont 20 000t/an pour les boulangeries semi-modernes et 15 000t/an pour les boulangeries artisanales, beignets et préparation culinaire [2]. Cette quantité est insuffisante pour couvrir la demande de la population du Tchad, notamment celle de la province du Lac, qui ne cesse de croître, passant de 120 866 habitants en 1993 à 433 780 habitants en 2012 [6, 18, 19]. A cette date, peu d'étude ont été entreprises concernant la granulométrie et l'évaluation de la salinité des sols des polders agricoles de Berim sud, Mandi et Guini. Or, des paramètres tels que la granulométrie, le pH, la conductivité électrique (CE), les éléments grossiers (EG), l'humidité résiduelle, le carbone organique et l'azote total sont des variables qui conditionnent directement et étroitement le comportement ainsi que les conditions de fonctionnement des sols agricoles [6, 20]. L'objectif de cette étude est de mettre en lumière les parcelles non cultivées abandonnées dans les polders de Berim sud, Mandi et Guini. Plus spécifiquement, il s'agit de (I) caractériser leur composition granulométrique, (II) évaluer leur taux de salinité et (III) proposer une gestion intégrée et durable des sols de ces polders agricoles.

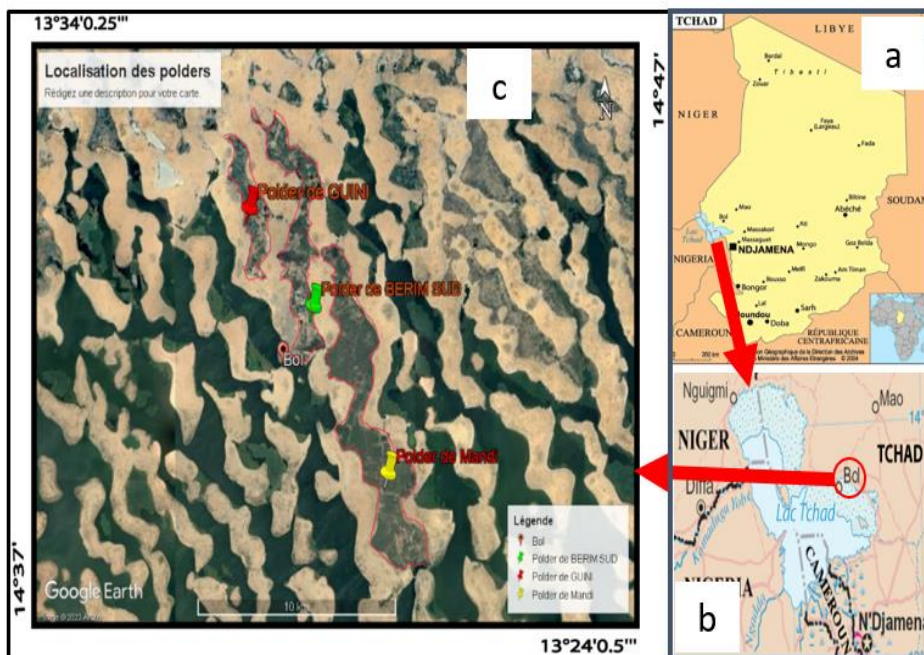
## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été menée sur les sols de trois polders agricoles situés dans la commune de Bol province du Lac. Les coordonnées géographiques sont : 13°34'0,25"-13°24'0,5" latitude Nord et de 14°37'-14°47' longitude Est [4, 21]. Il s'agit des polders de Guini (350 ha, 1976), de Mandi (1 800 ha, 1992) et de Berim (800 ha, 1992). La Province présente un climat sahélien semi-aride avec

deux saisons distinctes : une longue saison sèche de novembre à octobre et une saison des pluies (**Tableau 1**) de juin à septembre [23]. Les cumuls mensuels entre 2018 et 2022 varient de 76,5mm mini en octobre à 366,25 maxi en août [2]. La température moyenne oscille entre 12,9 °C minimum et 42,2 °C maximum [2, 17, 37]. Les polders agricoles sont des extensions du lac qui pénètrent à l'intérieur des terres et sont séparés les uns des autres par des langues dunaires sableuses. Ils représentent des formations alluviales lacustres actuelles, principalement argileuses et limono-argileuses [2, 21 - 23]. Dans le cadre de cette étude, vingt-huit (28) parcelles ont été échantillonnées dans les trois polders. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à une profondeur de 0-20 cm, conforme à l'enracinement du blé. L'échantillonnage a été effectué de manière aléatoire, et un échantillon composite a été ensaché selon la méthode décrite dans le Guide pour la description des sols [20]. En laboratoire, la granulométrie a été déterminée par la méthode densimétrique sur trois fractions (argile, limon, sable). Le pH, la conductivité, le carbone total, la matière organique, les éléments grossiers et l'humidité résiduelle ont été analysés selon la méthode classique. Dans chaque polder, nous avons prélevé un échantillon composite provenant d'une parcelle non cultivée, laissée à l'abandon par les paysans, ainsi qu'un échantillon composite d'une parcelle en culture permanente. Les codes MZ désignent le polder de Mandi Zone (A, H, et F) ; Les codes PGuini désignent le polder de Guini et les codes PBS désignent les polders de Berim sud. Pour le traitement des résultats des analyses, nous avons fait usage des logiciels Origin2023b et Excel. Par ailleurs, Google Earth et Adobe Illustrator ont été employés pour la cartographie et la localisation de la zone d'étude.

**Tableau 1** : *Cumul mensuel de pluviométrie pour la période de 2018-2022*

<i>Mois</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Sept</i>
<i>Total mensuel 2018</i>	56	76	226	30
<i>8Total mensuel 2022</i>	41	111,5	280,5	99
<i>Moyenne mensuelle 2018et 2022</i>	76,5	131,75	366,25	79,5



**Figure 1 :** Localisation des polders de la zone d'étude sur Google earth Pro  
 (a) carte du Tchad (b) Province du Lac (b) Zone d'étude

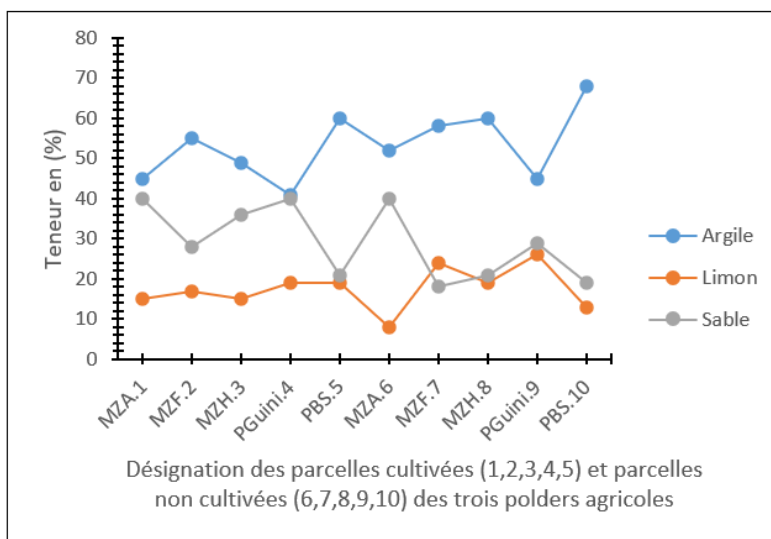
### III - RÉSULTATS

#### III-1. La Composition granulométrique

Le **Tableau 2** présente la composition granulométrique des sols des parcelles cultivées et les sols des parcelles non cultivées. La projection des résultats dans le diagramme textural USDA [24] a montré que les sols de ces trois polders agricoles ont une texture argileuse (**Tableau 2**). Le pourcentage en agiles des parcelles cultivées A = 47 % et limon L = 53 % est inférieure par rapport à celui des parcelles non cultivées A = 53 % et L = 51 %. Par contre le pourcentage du sable S=57% est supérieur à celui des sols des parcelles non cultivées (**Tableau 2**). Du point de vue granulométrie les sols des parcelles cultivées et parcelles non cultivées ont une texture argileuse et ne présentent aucun danger pour la culture du blé.

**Tableau 2 : Résultat d'analyse granulométrique des sols des parcelles cultivées et non cultivées**

Paramètre (%)	Parcelles cultivées (1, 2, 3, 4, 5)					Parcelles non cultivées (6, 7, 8, 9, 10)				
	MZA .1	MZ F.2	MZ H.3	PGui ni.4	PB S.5	MZ A.6	MZ F.7	MZ H.8	PGui ni.9	PBS .10
Argile	45	55	49	41	60	52	58	60	45	68
Limon	15	17	15	19	19	8	24	19	26	13
Sable	40	28	36	40	21	40	18	21	29	19



**Figure 2 :** Diagramme montrant la variation des taux d'Argile, Limon, Sable dans les parcelles cultivées et parcelles non cultivées

### III-2. L'Humidité résiduelle (HR) et Éléments Grossiers (EG)

Le **Tableau 3** donne les pourcentages des sols en humidité résiduelle et la charge en éléments grossiers. Les sols des parcelles non cultivées sont très riches en humidité résiduelles (65 %) tandis que les sols des parcelles cultivées sont pauvres en humidité résiduelle (25 %). Les taux d'humidité résiduelle dans le sol est proportionnel aux taux d'argile. Nous pouvons déduire que les sols des parcelles non cultivées sont très argileux par rapport aux sols des parcelles cultivées. Néanmoins, tous les sols étudiés sont des sols argileux puisque leurs pourcentages en humidité résiduelles est supérieur ( $HR > 5\%$ ) par rapport à la valeur seuil ( $HR > 4\%$ ) pour les sols non argileux. En ce qui concerne la charge en éléments grossiers, les sols des parcelles cultivées sont très riches en éléments grossiers (77 %) tandis que les sols des parcelles non cultivées sont pauvres en éléments grossiers (23 %). Cela montre que les sols

des parcelles non cultivées sont vulnérables à la remonté capillaire et à la salinisation contrairement aux sols des parcelles cultivées. Il convient de noter que les éléments grossiers jouent un rôle important dans la protection du sol contre l'évaporation, la diminution de la réserve en eau et le tassement. Par ailleurs, les sols des parcelles cultivées sont très favorables à la culture du blé par rapport aux sols des parcelles non cultivées qui sont très vulnérables au tassement et à la salinisation.

**Tableau 3 :** *Pourcentage des éléments grossiers (EG) et Humidité résiduelles (HR) des parcelles cultivées et non cultivées*

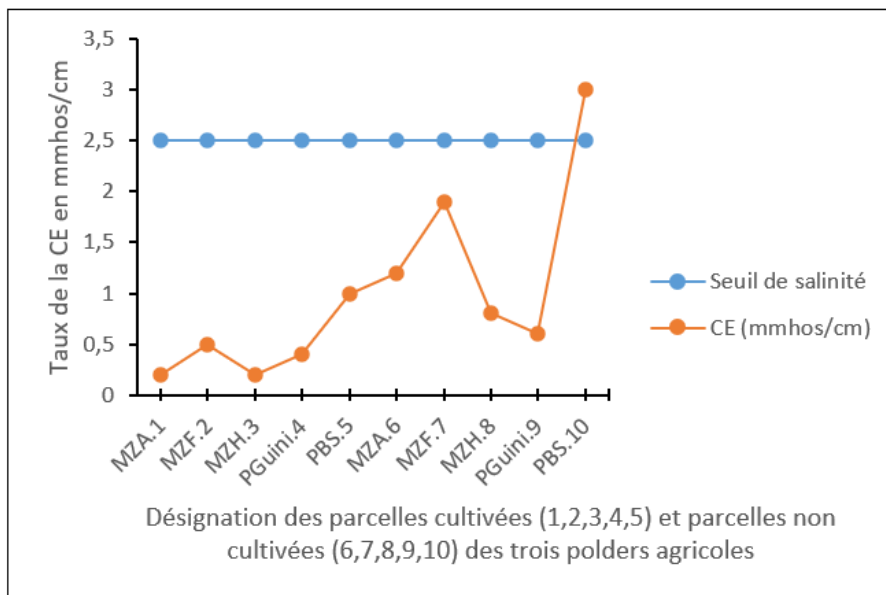
Parcelles cultivées (1, 2, 3, 4, 5)					Parcelles non cultivées (6, 7, 8, 9, 10)					
Paramètres	MZA.1	MZF.2	MZH.3	PGuini.4	PBS.5	MZA.6	MZF.7	MZH.8	PGuini.9	PBS.10
EG (%)	10	43	4	13	3	2	3	5	9	3
HR (%)	7	7	6	6	7	7	31	5	8	9

### III-3. Le pH et la Conductivité Electrique (CE)

Le **Tableau 4** donne le pourcentage de la conductivité électrique et le pH des parcelles cultivées et non cultivées. Les parcelles cultivées ont un pH faiblement acide, et neutre (pH = 6.4 et pH = 8.5) favorable à la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes tandis que le pH des parcelles non cultivées est très basique (pH = 8.3 et pH = 9.4). On peut déduire que le pH des sols des parcelles cultivées est très favorable à la culture du blé par rapport celui des parcelles non cultivées. En outre, 23 % des parcelles cultivées ont une conductivité compris entre CE = 0.2 mmhos à CE = 1mmhos / cm tandis que 77 % des sols des parcelles non cultivées ont une conductivité compris entre CE = 1 mmhos à CE = 3mmhos/cm (Servant, 1975). La projection des valeurs de la conductivité électrique dans l'échelle de salinité montre que les parcelles cultivées sont composées de sols non salinisées (CE = 0.2 mmhos/cm à CE = 1 mmhos/cm) contrairement aux parcelles non cultivées qui sont constituées de sols non salinisées à faiblement salinisées (CE = 1 mmhos/cm à CE = 3 mmhos/cm). Ces valeurs de la CE dans les sols des parcelles cultivées et des parcelles non cultivées ne causeraient pas de dommage au blé. En conséquence, les parcelles cultivées et les parcelles non cultivées sont favorables à la culture du blé.

**Tableau 4 :** *Les valeurs du pH et conductivité électrique des parcelles cultivées et non cultivées*

Parcelles cultivées (1, 2, 3, 4, 5)					Parcelles non cultivées (6, 7, 8, 9,10)					
Paramètres	MZA.1	MZF.2	MZH.3	PGuini.4	PBS.5	MZA.6	MZF.7	MZH.8	PGuini.9	PBS.10
pH	6.4	6.9	6.6	8.5	8.3	8.6	8.2	6.7	8.8	9.4
CE (mmhos/cm)	0.2	0.5	0.2	0.4	1	1.2	1.9	0.8	0.6	3



**Figure 3 :** Diagramme montrant le seuil de salinité de Servant (1975) et la variation du taux de salinité des sols des parcelles cultivées et non cultivées

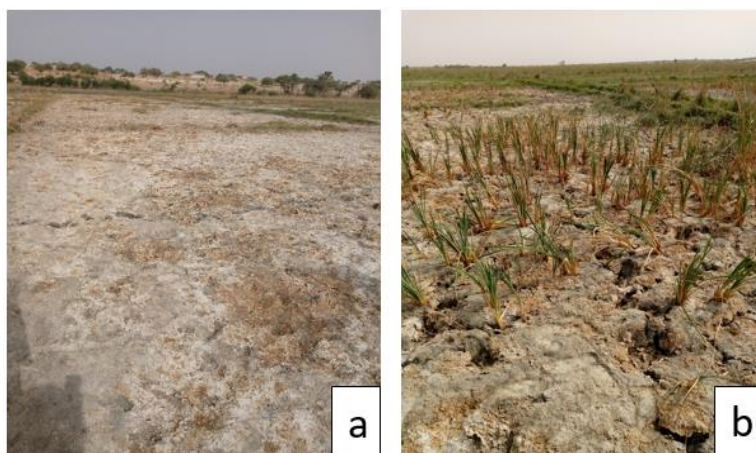
#### III-4. Matière organique, Carbone organique, Azote total et Rapport C/N

Le pourcentage en carbone organique 52 % pour les parcelles cultivées est supérieur à celui des parcelles non cultivées 48 %, de même que le pourcentage en matière organique 52 % des parcelles cultivées est supérieur à celui des parcelles non cultivées 48 %. Le pourcentage en azote total 51 % des parcelles cultivées est supérieur à celui des parcelles non cultivées 48 %. On peut déduire que les parcelles cultivées sont riches en matière organique, en carbone organique et en azote total par rapport aux parcelles non cultivées. En outre la teneur en azote totale est faible dans tous les sols étudiés en comparaison aux valeurs normatives internationales. Le rapport C/N des parcelles cultivées est compris entre C/N = 9 % et C/N = 14 % et celui des parcelles non cultivées qui varient de C/N = 7.5 % à C/N = 16 %. Le processus de l'humification est meilleur dans les parcelles cultivées tandis que, dans les parcelles non cultivées la minéralisation rencontre des difficultés, les conditions d'anaérobie seraient excessives.

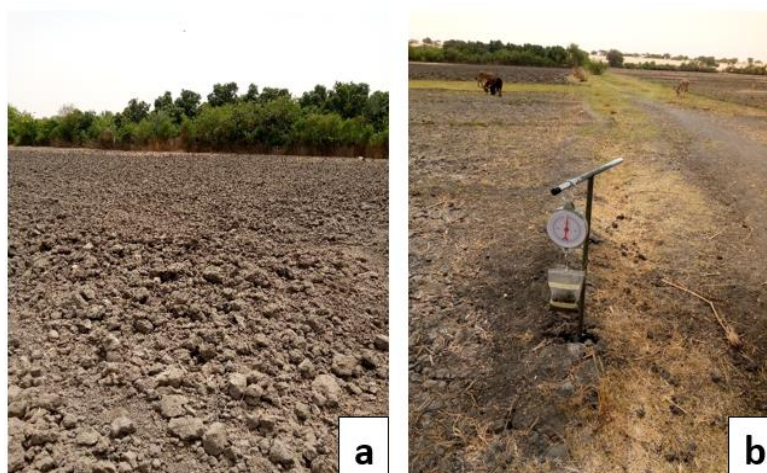


**Tableau 5 :** Taux de la matière organique, du carbone et de l'Azote total dans les parcelles cultivées et non cultivées

Parcelles cultivées (1, 2, 3, 4, 5)					Parcelles non cultivées (6, 7, 8, 9, 10)					
Paramètres (%)	MZA.1	MZF.2	MZH.3	PGuini.4	PBS.5	MZA.6	MZF.7	MZH.8	PGuini.9	PBS.10
CO	1.79	1.77	1.1	1.4	1	1.32	1.53	1.6	1.5	0.6
MO	3.03	3.05	1.9	2.5	1.7	2.27	2.65	2.7	2.6	1.1
N Total	0.2	0.2	0.04	0.1	0.1	0.13	0.2	0.1	0.1	0.08
C/N	9	9.8	27.5	14	10	10.2	8.5	16.	15	7.5



**Figure 4 :** Parcelles non cultivées abandonnés par les paysans à l'ouest du polder de Berim sud (a) précipitation de sel en surface (b) plante exposée à la salinisation



**Figure 5 :** Polder de Berim sud (a) parcelle labourée pour le semis de blé en décembre (b) Vu d'une parcelle cultivée

#### IV - DISCUSSION

Les résultats des analyses granulométriques indiquent que les sols étudiés présentent une texture argileuse. Ces conclusions corroborent les travaux de plusieurs auteurs réalisés sur les polders de la province du Lac [5, 17, 24, 25]. La texture argileuse des sols agricoles ne présente aucun inconvénient pour la culture du blé [1, 26, 27, 34]. En ce qui concerne la salinité, les sols des parcelles cultivées ne sont pas salinisés ( $CE < 0.2$  mmhos/cm) contrairement aux sols des parcelles non cultivées qui présentent une faible salinité ( $CE = 3$  mmhos/cm), se situant dans les valeurs normatives proposées par la littérature ( $CE = 2.5$  mmhos/cm à  $CE = 5$  mmhos/cm) [28 - 31]. Cette différence de taux de salinisation dans les sols des parcelles cultivées est attribuable à la charge en éléments grossiers, ces derniers jouant un rôle essentiel dans la rupture de la remontée capillaire et la précipitation du sel au niveau des horizons superficiels des sols agricoles [20, 30]. Ainsi, du point de vue de la salinité, les sols des parcelles cultivées et des parcelles non cultivées sont favorables à la culture du blé. Les résultats des analyses révèlent que les taux de matière organique des différentes parcelles sont propices à la culture du blé [12, 23, 36], se situant dans l'intervalle  $MO = 1.5\%$  à  $3.0\%$ , conforme aux valeurs normatives. La teneur en matière organique varie en fonction de la texture des sols [21], les sols des parcelles non cultivées étant plus riches en argileux que les sols des parcelles cultivées. Selon les études de Few Net Tchad [6], le rapport C/N détermine l'état de minéralisation de la matière organique dans les sols agricoles.

Ainsi, un rapport compris entre  $9 < C/N < 11$  indique un meilleur processus de minéralisation dans les sols des parcelles cultivées, tandis qu'un  $C/N > 12$  indique une minéralisation médiocre ou lente. Cette même étude [6] démontre que la forte teneur en argile dans les sols entraîne un engorgement en eau, favorisant des conditions d'anaérobie excessives qui limitent la minéralisation de la matière organique (MO). Cela confirme nos résultats, qui mettent en exergue que les sols des parcelles non cultivées sont très riches en argile par rapport aux sols des parcelles cultivées. Les valeurs de pH obtenues dans les différents sols étudiés varient de faiblement en passant le neutre [36]. Les études de Pias [21] soulignent que le pH varie en fonction de l'humidité des sols argileux. L'influence du pH sur l'assimilabilité des principaux éléments fertilisants et des oligo-éléments est considérable [30]. En général, la plupart des plantes céréalières se développent harmonieusement dans un sol faiblement acide, neutre et basique ( $6.4 < pH < 8.7$ ). Les résultats des analyses montrent également que les sols étudiés présentent une carence en azote total ( $N < 0.2\%$ ), les teneurs en azote étant inférieures aux valeurs normatives ( $N = 0.2\%$ ) citées dans la littérature [31 - 33]. L'azote total est l'ensemble de toutes les formes d'azote minéral et organique disponibles dans le sol. Selon [30], l'azote est un élément nutritif essentiel à toutes les plantes. Ainsi, les sols des parcelles non cultivées sont défavorables à la culture du blé en raison de teneurs très faibles en azote total [35].

## V - CONCLUSION

Les trois polders agricoles étudiés se composent en surface (0-20 cm) de sols argileux favorables à la culture du blé. De plus, les sols des parcelles cultivées ne sont pas salinisés et présentent un pH propice à la culture du blé, tandis que les sols des parcelles non cultivées sont faiblement salinisés et très basiques, ne représentant aucun danger pour la culture du blé. Les rapports C/N indiquent que les sols des parcelles cultivées bénéficient d'une bonne minéralisation, alors que les sols des parcelles non cultivées ont une minéralisation mauvaise et très lente. Il apparaît que la présence d'éléments grossiers dans les sols des parcelles cultivées joue un rôle crucial dans la protection de ces sols contre la remontée capillaire, la précipitation du sel en surface et l'évaporation. Les sols argileux présentent une grande capacité de rétention d'eau, mais sont sensibles à l'évaporation et à la remontée capillaire en présence de chaleur. Ainsi, une gestion quantitative et qualitative des eaux d'irrigation pourrait améliorer la salinité des sols des parcelles non cultivées. De plus, l'apport d'azote et l'augmentation de la charge en éléments grossiers constitueraient des solutions souhaitables. Néanmoins, des études complémentaires, telles que l'analyse des bases échangeables et la capacité d'échange cationique, et la mesure du taux d'infiltration s'avèrent nécessaires pour mieux comprendre la composition chimique des sols en termes d'éléments nutritifs.

## RÉFÉRENCES

- [1] - C. BOUQUET, La culture du blé dans les polders du lac Tchad. Cahiers d'outre-mer, 22(86) (1969) 203 - 214  
<https://doi.org/10.3406/caoum.1969.2511>
- [2] - SODETEG, Schéma directeur de développement socio-économique de la région du Lac : Tome I -Partie I : Milieu Physique, (1992a)
- [3] - E. H. MALET, Atlas du lac Tchad. Le passage 2<sup>e</sup> trimestre de 2015, Numéro spécial 183 (2015) 130. [www.passages-adapes.fr](http://www.passages-adapes.fr)
- [4] - P-SIDRAT, Atlas du Tchad, (2013)
- [5] - SODETEG, Schéma directeur de développement socio-économique de la région du Lac : Tome II -Partie II- Programme et projet de développement, (1992b)
- [6] - FEWS NET CHAD, Tchad perspective sur la sécurité alimentaire. Le Réseau de Systèmes d'Alerte Précoce contre la Famine, (2019). [www.fews.net/fr/chad](http://www.fews.net/fr/chad)
- [7] - A. M. NOUR, Fonctionnement hydrologique, chimique et isotopique du principal affluent du lac Tchad : Le système Chari-Logone [Thèse de Doctorat]. Aix-Marseille Université, (2019)

- [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 de Doctorat]. Université Louis Pasteur de Strasbourg, (1974)
- [9] - FAO et UNESCO, Carte mondiale des sols. 1 : 5000 000, Unesco, Vol. 6, (1976)
- [10] - R. MALIKI, Gestion de la fertilité des sols pour une meilleure productivité dans les systèmes de culture à base d'igname au Bénin [Thèse de Doctorat]. Université d'Abomey-Calavi, (2013)
- [11] - O. YOBOM, Climate Change, Agriculture and Food Security in Sahel [Thèse de Doctorat]. Université Bourgogne Franche-Comté, (2020)
- [12] - T. ALI DIB et P. MONNEVEUX, Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agronomie*, 12 (5) (1992) 371 - 379. <https://doi.org/10.1051/agro:19920503>
- [13] - W. MOUAROMBA, G. NGON NGON, A. A. ADOUM et E. C. BAYIGA, L'impact des pratiques agricoles sur les matières organiques de sols de polders, le cas de polder de Mamdi dans le Lac-Tchad. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, N°38 (2021) 455 - 470
- [14] - CSAO et CILSS, Profil sécurité alimentaire Tchad (2008). [www.food-security.net](http://www.food-security.net)
- [15] - FAO, Save and Grow in practice : Maize, rice, wheat : a guide to sustainable cereal production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2016)
- [16] - FAO, publications catalogue, (2022). <https://doi.org/10.4060/cc2323en>
- [17] - A. A. ADOUM, 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, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)], (2016). <https://theses.hal.science/tel-03116811/>
- [18] - INSEED, Deuxième recensement général de la population et de l'habitat, (2012)
- [19] - MINISTERE DE PLAN ET DE LA COOPERATION, Recensement général de la population et de l'habitat du Tchad, (1993)
- [20] - D. BAIZE et JABIOL, B, Guide pour la description des sols (édition Quae). Camagref.Cirad.Ifremer, Inra, (2022)
- [21] - J. PIAS, Carte pédologique du Tchad (ORSTOM) [Carte pédologique du Tchad], (1962a)
- [22] - C. CHEVERRY, Rôle original de la pédogenèse sur la nature et le mode de l'accumulation saline dans certains milieux confinés en région subaride (polders des bordures du Lac Tchad). ORSTOM Collection de référence, (1969) 33 - 53
- [23] - CPCS, Classification des sols, (1967)
- [24] - S. W. BUOL, Soil genesis and classification (6<sup>th</sup> ed). Wiley-Blackwell, (2011)

- [25] - J. PIAS et E. GUICHARD, Etude pédologique des rives du Lac Tchad de Djimtilo à Bol et du Sillon du Bahr el Ghazal de Massacory a Moussoro, (1952)
- [26] - Z. ABDELLAOUI, H. TESKRAT ET A. BELHADJ, Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide, N°96 (2010) 71 - 87
- [27] - L. BEDOUSSAC, Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants [Thèse de Doctorat]. Université de Toulouse, (2009)
- [28] - D. BAIZE, Les planosols de Champagne humide pédogénèse et fonctionnement [Thèse de Doctorat]. Université de Nancy I, (1983)
- [29] - D. BAIZE, Petit lexique de pédologie (édition Quae), (2016)
- [30] - D. BAIZE, Guides des analyses en pédologie. 3e édition revue et augmentée (édition Quae). Christel Desmaris, (2018)
- [31] - C. F. DRURY, J. Y. YANG, R. DE JONG, T. HUFFMAN, V. KIRKWOOD, X. YANG et K. REID, Efficacité d'utilisation de l'azote (L'agriculture écologiquement durable au Canada: Série sur les indicateurs agroenvironnementaux Rapport, N°1 (2001) 72 - 79
- [32] - S. S. GUINDO, S. SACKO, O. GOITA, B. DIAWARA, H. DABO, B. TRAORE et D. TIMBELY, Effet du taux d'humidité sur la minéralisation de différentes sources de matières organiques dans les sols sous cultures riz et blé au Mali. Symposium malien sur les sciences appliquées, (2018) 524 - 531
- [33] - M. SAIDA, Effets à long terme de la salinité conjuguée aux effets du changement climatique sur une culture du blé dur, 3 (2013) 1623 - 1628
- [34] - M. ZOHRA, Etude de l'effet des mauvaises herbes sur les caractéristiques morphologiques, agronomiques, et leurs pouvoirs allélopathiques sur blé dur (*Triticum durum* Desf.) [Thèse de Doctorat]. Université Mohamed Khider – Biskra, (2020)
- [35] - C. CHEVERRY, M. FROMAGET et G. BOCQUIER, Quelques aspects micromorphologiques de la pédogénèse des sols de polders conquis sur le lac Tchad, 4 (1972)
- [36] - J. L. JULIEN, 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, 28 (2021) 159 - 179. <http://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-28-numero-1/>
- [37] - J. PIAS, Les sols du Moyen et Bas Logone, du bas Chari, des régions riveraines du Lac-Tchad et du bahr el ghazal, (1962b)
- [38] - J., SERVANT, Contribution à l'étude pédologique des terrains holomorphes. L'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France, thèse, Montpellier, (1975) 194 p.