

## CARACTÉRISATION DES SOLS SUR LE TRACÉ DE LA GRANDE MURAILLE VERTE : CAS DES PROVINCES DE WADI-FIRA-EST ET DE L'ENNEDI-EST DU TCHAD

Mbaikoubou MEKILA<sup>1,2\*</sup>, Guihini ABAKAR<sup>1</sup>, Naoura GAPILI<sup>2</sup>, Aly DIALLO<sup>2</sup> et Aliou GUISSSE<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Département Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, BP 5005 Dakar, Sénégal

<sup>2</sup> Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD), BP 5400 N'Djaména, Tchad

<sup>3</sup> Observatoire Homme Milieu Tessekere, UMI 3189, Sénégal

(reçu le 09 Mai 2022; accepté le 25 Juin 2022)

\* Correspondance, e-mail : [mekilam@yahoo.fr](mailto:mekilam@yahoo.fr)

### RÉSUMÉ

Ce présent travail a été réalisé dans les provinces de Wadi Fira-Est et de l'Ennedi-Est, situés tous sur le tracé de la Grande Muraille Verte du Tchad. L'objectif est de faire la caractérisation des sols afin de mettre en place une base de données scientifiques pour contribuer à la mise en place de la Grande Muraille Verte et de lutter ainsi contre la désertification. La méthode utilisée a consisté à ouvrir et à décrire des profils pédologiques de différentes unités et à faire des analyses physico-chimiques des 29 échantillons de sols qui ont été prélevés. Les résultats montrent que la fraction sableuse domine largement pour l'ensemble des profils décrits : la teneur en sable varie de 47,06 % à 92,16 % dans le Wadi Fira-Est et de 86,27 à 92,16 % à l'Ennedi-Est. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) de la matrice des 18 profils pédologiques décrits et les paramètres physico-chimiques analysés a mis en évidence trois groupes de sols répartis dans les deux sites. Ce sont entre autre le groupe G1 composé de sols sableux non salés et pauvres en azote avec une Capacité d'Echange Cationique (CEC), localisés à Wadi Fira Est et à l'Ennedi Est ; le groupe G2 constitué de sols sableux non salés, avec une faible capacité d'échange cationique et une pauvreté en matière organique rencontrés dans le Wadi Fira Est et le groupe G3 composé de sols sableux non salés, faible en limon et en potassium disponible capacité à Wadi Fira Est. Les résultats montrent aussi que les teneurs en bases échangeables, en phosphore, en azote, en matière organique et la capacité d'échange cationique sont faibles dans les sols des plateaux et moyennes dans ceux des bas-fonds.

**Mots-clés :** caractérisation, sol, grande muraille verte, Tchad.

## ABSTRACT

### **Characterization of soils along the route of the great green wall : the case of the provinces of wadi-fira east and ennedi east of chad**

This work was carried out in the provinces of Wadi Fira-Est and Ennedi-Est, all located on the route of the Great Green Wall of Chad. The objective is to characterize the soil in order to set up a scientific database to contribute to the establishment of the Great Green Wall and thus to fight against desertification. The method used consisted of opening and describing soil profiles of different units and performing physico-chemical analyzes of the 29 soil samples that were taken. The results show that the sandy fraction largely dominates for all the profiles described: the sand content varies from 47.06 % to 92.16 % in Wadi Fira-Est and from 86.27 to 92.16 % at the 'Ennedi East. The Principal Component Analysis (PCA) of the matrix of the 18 soil profiles described and the physico-chemical parameters analyzed revealed three groups of soils distributed in the two sites. These are among others the G1 group composed of non-saline and nitrogen-poor sandy soils with a Cation Exchange Capacity (CEC), located in Wadi Fira East and Ennedi East; the G2 group consisting of unsalty sandy soils, with low cation exchange capacity and low organic matter found in Wadi Fira East and the G3 group consisting of unsalty sandy soils, low in silt and available potassium capacity to Wadi Fira East. The results also show that the contents of exchangeable bases, phosphorus, nitrogen, organic matter and the cation exchange capacity are low in the soils of the plateaus and average in those of the lowlands.

**Keywords :** *characterization, soil, great green wall, chad.*

## I - INTRODUCTION

À l'instar des pays sahéliens, le Tchad connaît un déficit pluviométrique prolongé des années 70 à nos jours [1]. Ce déficit est d'autant plus accentué dans la partie Nord où la diminution de la pluviométrie moyenne se traduit par une zone aride et semi-aride [2]. Cette sécheresse a entraîné une dégradation de la végétation qui s'est traduite par une diminution de la biomasse des plantes annuelles herbacées et ligneuses [3]. Elle a aussi aggravé et accéléré un processus de dégradation des sols déjà sensibles [4]. Ces zones arides et semi-arides du Tchad sont marquées par l'absence quasi-totale de la strate arborée. L'accélération des changements climatiques s'est traduite par une dégradation des sols qui occasionne une diminution des rendements [5]. Cette dégradation se manifeste sous forme d'ensablement dans le Kanem, le Lac et le Nord du Batha et sous forme de glacis dans le Sud du Batha, le Ouaddaï et le Chari

Baguirmi où la zone est steppique avec très peu de ligneux sauf dans les bas-fonds (arbre, arbrisseau, buisson). A cette contrainte liée à la pluviométrie, s'ajoute une déficience en phosphore qui est un des facteurs limitant de la production agricole de la plupart des sols [6]. En plus, le taux de matière organique des sols tropicaux est en général inférieur à 1 % [7]. Plusieurs facteurs ayant trait à l'érosion hydrique et éolienne, à la dégradation des écosystèmes et des milieux naturels et au déficit chronique en eau, ont entraîné la réduction du potentiel biologique des sols. Dans ce contexte de dégradation accrue et progressive des ressources végétales et du substrat qu'elles occupent, une analyse des sols du tracé de la Grande Muraille Verte du Tchad s'avère nécessaire pour connaître leur niveau de dégradation, afin de proposer des stratégies de gestion et de réhabilitation.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1. La zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur 277 km de long et 15 km de large, elle fait partie du tracé de la GMV du Tchad (*Figure 1*). Le climat est de type sahélien caractérisé par deux saisons : une saison sèche qui s'étend de novembre à mai et une saison pluvieuse de juin à octobre. La température varie de 22,31 °C à 33,64 °C [8]. Deux sites (Wadi Fira - Est et Ennedi-Est) ont fait l'objet de l'étude pour la caractérisation des ligneux de la zone d'étude. Leur choix a été motivé par les différentes unités pédologiques rencontrées.

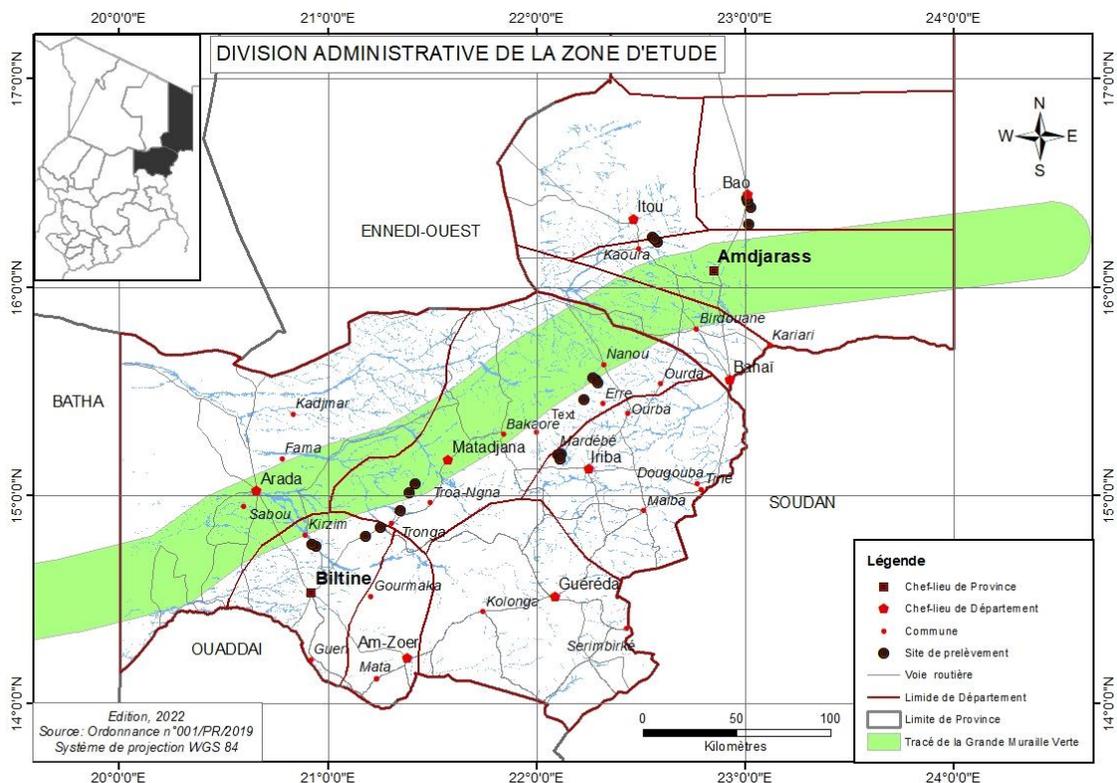


Photo 1 : Zone de l'étude

## II-2. Évolution du climat dans la zone

Les provinces du Wadi Fira-Est et de l'Ennedi-Est sont caractérisées par un climat de type sahélo saharien avec une faible pluviométrie de trois mois qui débute en juillet et finit en fin septembre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 250 mm dans la Province de Wadi Fira -Est au Sud et 100 mm à Fada au Nord de la Zone. Le mois d'août est le seul mois le plus pluvieux dans la zone. L'amplitude thermique varie entre 26 à 34°C. Les mois les plus chauds sont les mois de mars, avril, mai et juin. La température maximale est observée au mois de mai avec une moyenne de 34°C et la température minimale est observée au mois de janvier et décembre. La température moyenne au mois d'août est de 26°C.

## II-3. Matériel utilisé

Mis à part l'appareil photo numérique qui a été utilisé pour la prise de vue dans l'étude du sol et de la végétation, nous avons utilisé le code de Munsell pour déterminer la couleur des différents horizons, des pelles et des pioches pour

creuser des profils, un GPS (Global Positioning System) pour la position géographique des profils pédologiques et des relevés, des sachets en plastiques pour contenir les échantillons de sols, de l'eau pour apprécier la texture des horizons. Au laboratoire, pour la réalisation des analyses de sol nous avons utilisé :

- une verrerie de nature et de calibre très diversifiés ;
- un appareillage composé de balance de précision, des agitateurs magnétiques, un pH-mètre, un conductimètre, un réchaud, une étuve, un distillateur, une rampe de minéralisation et un photomètre à flamme ;
- des produits et solutions chimiques de concentrations variées tels que de l'eau distillée, des solutions tampon, des cristaux de chlorure de potassium, d'acétate d'ammonium, de soude, de l'eau oxygénée, de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide phosphorique, de l'acide borique, du bichromate de potassium, du sulfate ferreux, du zinc granuleux, des pastilles ou catalyseurs de Kjehdal et des indicateurs colorés de nature variable;
- d'autres matériels composés de tamis de diamètre variable allant de 63 à 2000  $\mu\text{m}$ , de spatules, de pinces, d'étiquettes, de barreaux aimantés, d'une tige aimantée, du papier aluminium, du papier para film, d'un mortier etc.

## II-4. Collecte de données

### II-4-1. Réalisation des profils pédologiques

L'échantillonnage consiste à positionner des profils pédologiques représentatifs des différentes unités de sols identifiées grâce à la carte morphopédologique. Dix (10) profils ont été ouverts, soit cinq (05) à l'Ennedi Est et treize (13) à Wadi Fira-Est ; Ce qui fait 29 échantillons de sol prélevés suivant les différents profils et horizons distincts et qui sont numérotés de la sorte :

- A l'Ennedi-Est : E01, E02, E03, E04, E05 et E06.
- Au Wadi-Fira Est : WF01, WF02, WF03, WF04, WF05, WF06, WF07, WF08, WF09, WF10, WF11, WF12, WF13, WF14, WF15, WF16, WF17, WF18, WF19, WF20, WF21 et WF22 et WF23.

De façon générale l'étude de terrain était constituée des étapes suivantes :

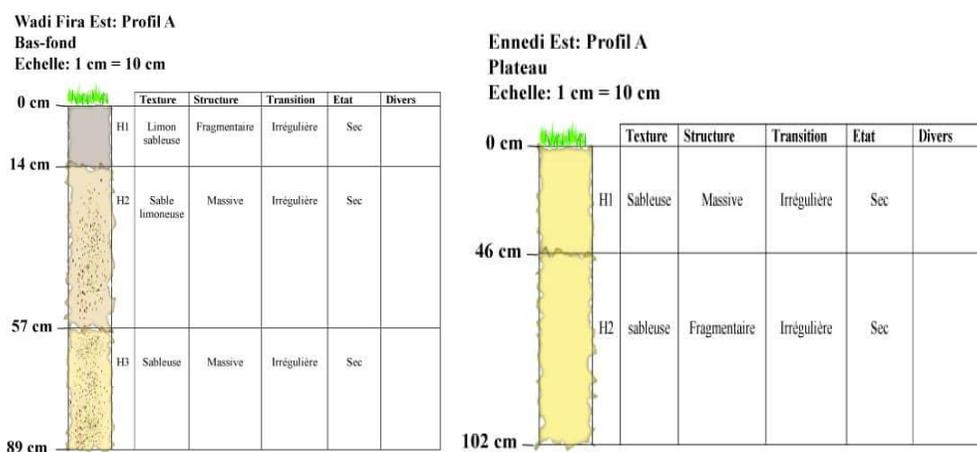
- l'identification des différentes unités de paysage ou unités géomorphologiques ;
- positionnement des profils types de sols à étudier (ces profils sont géo-référencés) ;
- creusage de fosses pédologiques.
- description des profils types de sol selon la fiche de description ;
- prélèvement d'échantillons pour les analyses physico-chimiques, il se fait de l'horizon du bas vers celui du haut.

Sur chaque horizon décrit, des échantillons de sols représentatifs ont été prélevés et ont servi de support aux analyses de laboratoire. Avant de procéder aux différentes analyses, les échantillons de sol prélevés ont subi un conditionnement. Ce dernier permet d'avoir la terre fine ayant servi aux analyses physico-chimiques.

## II-5. Appréciation des paramètres physiques du sol

### II-5-1. Analyses au laboratoire

Les travaux de laboratoires ont consistés en des opérations de préparation des échantillons en vue de leurs analyses (mesures des paramètres physico-chimiques). Ces analyses ont portées sur : le potentiel Hydrogène (pH), la Conductivité électrique (CE), la granulométrie, les bases échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ), la capacité d'échange cationique (CEC), le carbone organique, l'azote total et le phosphore assimilable. La matière organique (MO), le rapport C/N et le taux de saturation en bases ( $T = \text{somme des bases échangeables}/\text{CEC}$ ) sont déduits par calcul.



**Figure 1 :** Description des profils de Wadi Fira Est et de l'Ennedi Est

## II-6. Traitement des données

Les données obtenues, ont été traitées avec le logiciel XL STAT 2014 (Version 16.2). Une Analyse en Composantes Principales (ACP) de la matrice des profils pédologiques décrits, et des paramètres physico-chimiques analysés a été réalisée afin de mettre en évidence les ressemblances entre les sols des différents profils décrits [9, 10]. Pour l'ACP, le nom de chaque profil et celui des paramètres physico-chimiques ont été codés. Les informations données

correspondant à des groupes des profils sont généralement désignées par le nom d'un paramètre physico-chimique distinct. L'analyse nous a permis de trouver un rapport entre les groupes des profils accordés.

### III - RÉSULTATS

#### III-1. Caractéristiques physico-chimiques des sols

##### III-1-1. Granulométrie

L'étude a permis de mettre en évidence dans la zone, des sols sableux dans la majorité des échantillons et des sols sablo-limoneux dans une moindre mesure. Le taux d'argile est relativement très bas partout. Les sols de Wadi Fira - Est présentent une texture sableuse, le taux de sable varie de 47,06 à 92,16 %. Cet important taux en sable de ces sols témoigne de leur structure particulière. Dans l'Ennedi - Est, les sols sont de texture sableuse et le taux de sable varie de 86,27 à 92,16 % avec une dominance de sable grossier, la structure est aussi particulière.

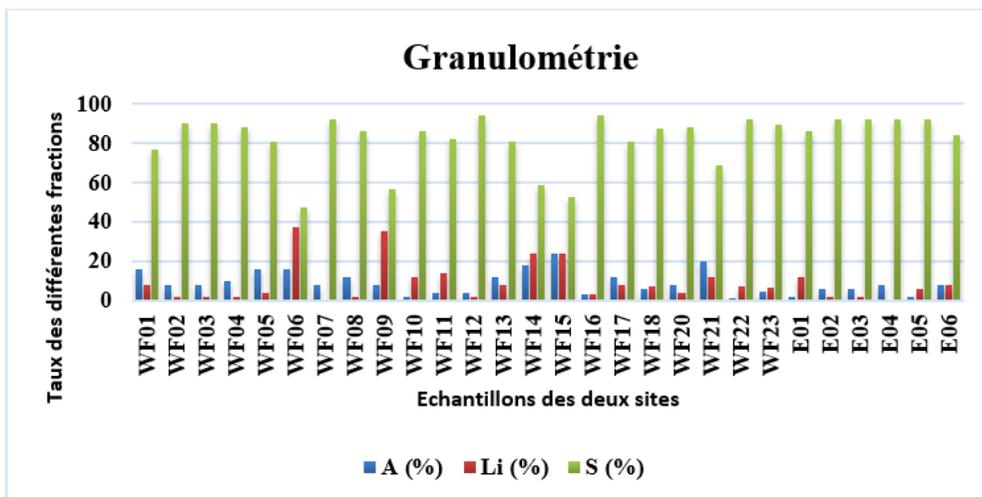
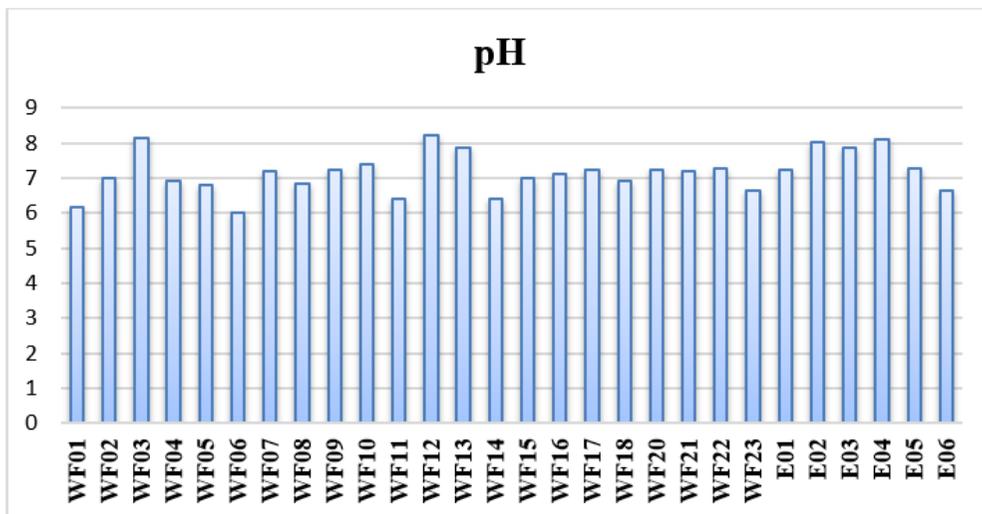


Figure 2 : Variation des proportions de l'argile, du sable et de limon

##### III-1-2. Potentiel Hydrogène (pH)

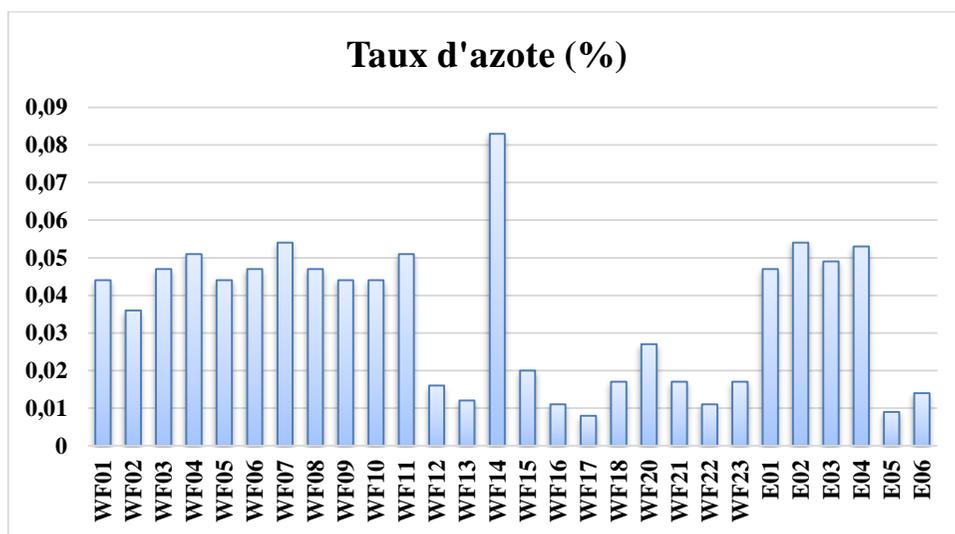
Les analyses ont montré que les valeurs de pH obtenues vont de de 6,02 à 8,13 pour le site de Wadi Fira-Est et de de 7,25 à 8,12 pour l'Ennedi-Est. Toutes ces valeurs traduisent des légèrement acide à très alcalin dans notre zone d'étude.



**Figure 3 :** Variation des pH des échantillons de sol

### III-1-3. Azote total (N) et rapport C/N

Les analyses ont donné des taux d'azote allant de 0,036 % à 0,056 % pour la province de Wadi-Fira Est ; Dans l'Ennedi-Est, ces taux vont de 0,047 % à 0,054 %. La zone d'étude présente un taux général d'azote très pauvre à pauvre.



**Figure 4 :** Variations des taux d'azote des échantillons de sol

Le rapport C/N quant à lui est de 6 à 11 pour le Wadi Fira-Est et de 6 à 10 pour l'Ennedi-Est. Ces rapports montrent à suffisance que la matière organique est bien décomposée dans notre zone d'étude.

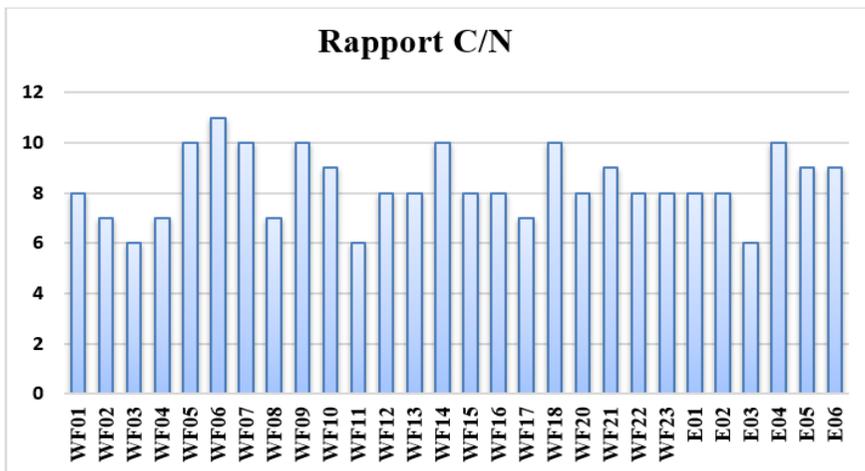


Figure 5 : Les rapports C/N des échantillons de sol

### III-1-4. Carbone organique (C) et matière organique (MO)

Les valeurs de la matière organique et du carbone obtenues sont respectivement de l'ordre de 0,457 % à 0,907 % (MO) et de 0,265 % à 0,526 % (C) pour le Wadi Fira-Est et de 0,498 % à 0,931 % (MO) et de 0,289 % à 0,540 % (C) pour l'Ennedi-Est. Ces valeurs traduisent des taux de MO et C moyen et riche pour la zone de l'étude.

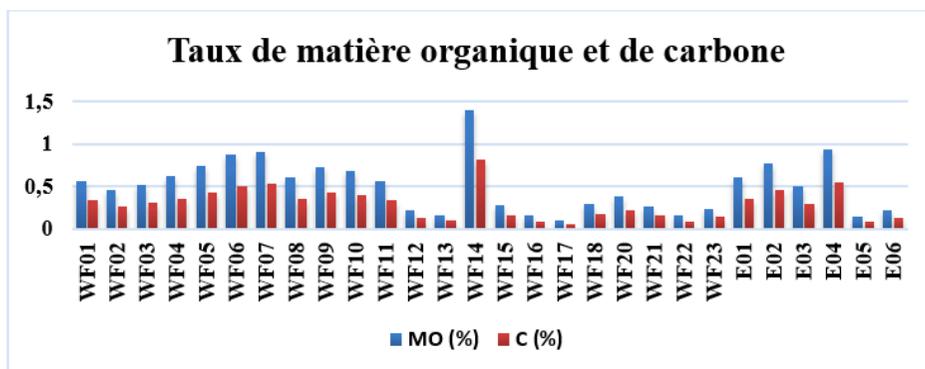


Figure 6 : Variations de la matière organique et du carbone

### III-1-5. Les bases échangeables

Les valeurs des différentes bases échangeables des sols de notre zone d'étude sont les suivantes :

- Wadi Fira-Est : Mg<sup>+</sup> : de 0,28 à 1,80 ; Na<sup>+</sup> : 0,06 à 0,11 et K<sup>+</sup> : de 0,08 à 0,47
- Ennedi-Est : Mg<sup>+</sup> : de 0,57 à 0,99 ; Na<sup>+</sup> : 0,06 à 1,28 et K<sup>+</sup> : de 0,08 à 0,13.

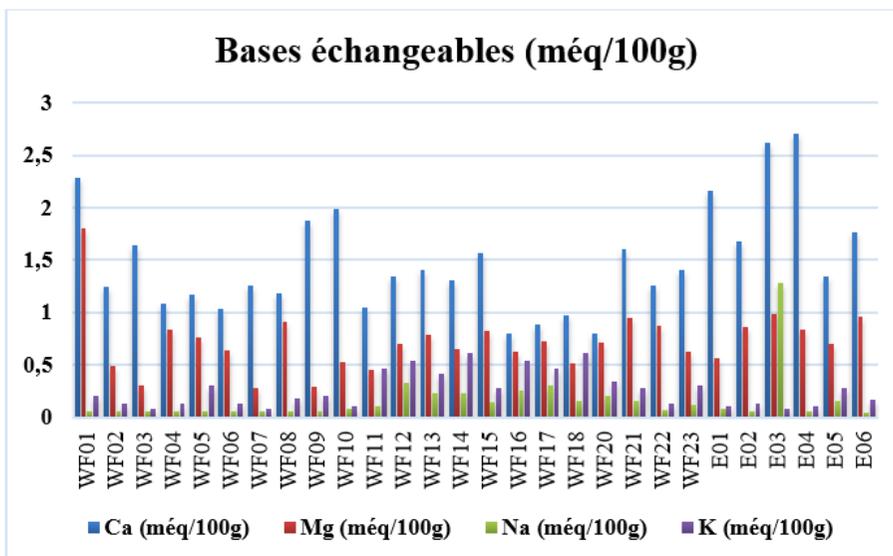


Figure 7 : Variations des bases échangeables des échantillons de sol

### III-1-6. Phosphore total (P)

Les taux de Phosphore total vont de 3,41 % à 13,46 % pour le Wadi Fira-Est et de 5,84 % à 7,62 % pour l'Ennedi-Est. Les valeurs du Potassium disponible vont respectivement de 15,34 % à 125,18 % pour le Wadi Fira-Est et de 13,83 % à 59,87 % pour l'Ennedi-Est.

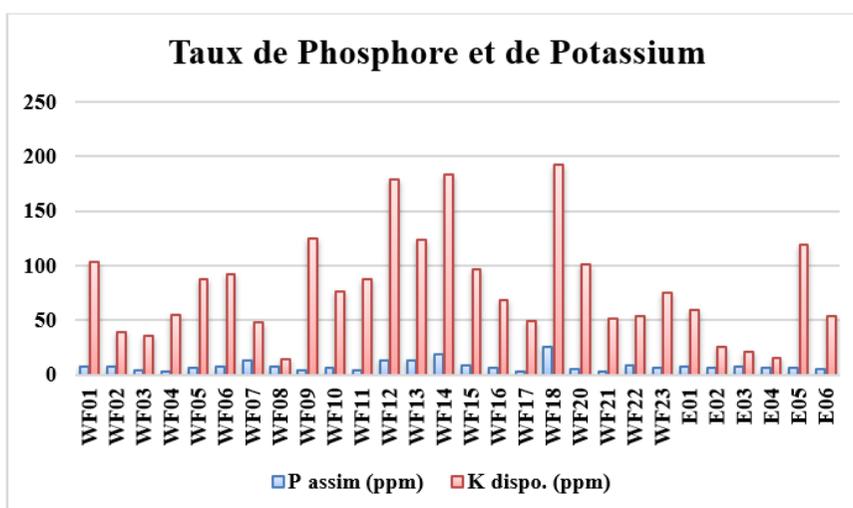
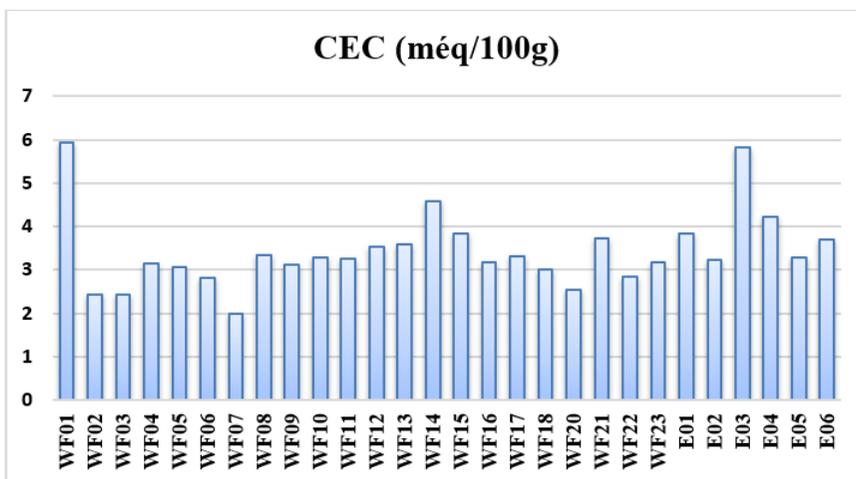


Figure 8 : Variations des taux de Potassium disponible et du Phosphore assimilable

**III-1-7. Capacité d'échange cationique (CEC)**

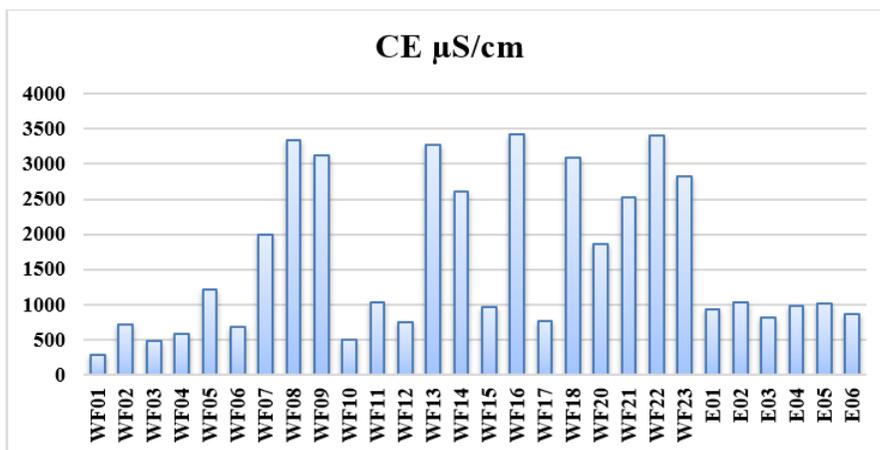
Les analyses ont donné des valeurs de le CEC allant de 2,43 à 5,92 pour le Wadi Fira-Est et de 3,24 à 5,82 pour l'Ennedi-Est. Ce traduit un taux de CEC très bas à bas pour notre zone d'étude.



**Figure 9 :** Variation de la capacité d'échange cationique des échantillons de sol

**III-1-8. Conductivité électctique (CE 25°C).**

Les valeurs de la conductivité sont de l'ordre de 0,28µS/cm à 3,3(µS/cm pour la zone de Wadi Fira-Est et de 0,81µS/cm à 1,04µS/cm pour l'Ennedi-Est. Les sols de notre zone d'étude ne sont pas salés car toutes les valeurs sont en dessous de 250 µS/cm.



**Figure 10 :** Variation de la conductivité électctique des échantillons de sol

### III-1-9. Variabilité spatiale des sols de la zone d'étude

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a montré que les 4 premiers axes factoriels expliquent 74,378 % de l'information. Le plan factoriel principal F1 et F2 renferment respectivement 30,414 % et 21,249 % de l'information soit un total de 51,663 % de l'information. Les paramètres physicochimiques dont la contribution est supérieure à la moyenne sont : Sable (12,860 %), pH eau (11,442 %) et K dispo (12,423 %) pour l'axe F1. Pour l'axe F2 ce sont les paramètres carbone (21,323 %) et matière organique (21,321 %).

**Tableau 1 : Valeur propre et pourcentage de variance des quatre premiers axes de l'ACP**

Axe	F1	F2	F3	F4
Eigenvalue	5,170	3,612	2,054	1,808
Variability (%)	30,414	21,249	12,079	10,636
Cumulative %	30,414	51,663	63,742	74,378

L'Analyse en Composantes Principales a permis de discriminer trois groupes de sols en fonction de caractéristiques physico-chimiques.

- Le groupe G1 composé de sols sableux non salés et pauvres en azote avec un CEC faible, est localisé à Wadi Fira-Est et à l'Ennedi Est ;
- le groupe G2 constitué de sols sableux non salés, à capacité d'échange cationique faible et pauvre en matière organique, est rencontré dans le Wadi Fira-Est ;
- le groupe G3 composé de sols sableux non salés, faible en limon et en potassium disponible capacité rencontré à Wadi Fira-Est.

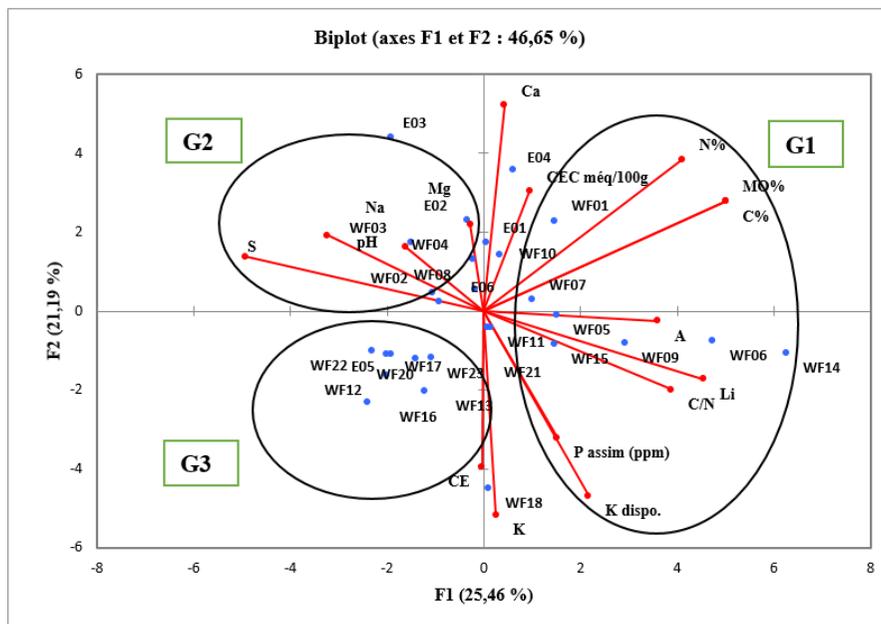


Figure 11 : Diagramme de matrice

#### IV - DISCUSSION

Les sols qui ont fait l'objet de cette étude, comme ceux cartographiés par Pias et Barbéry [11] sont marqués par la dominance de la fraction sableuse. Les résultats montrent des sols sableux à structure particulaire et des sols argilo-sableux à structure prismatique. La structure particulaire de ces sols témoigne de leur forte perméabilité [11]. Les taux importants de sable seraient liés aux processus d'alluvionnement de ces sites [12]. La sévérité des conditions climatiques dans la zone serait à l'origine de la forte érosion éolienne responsable de la mise en place d'une texture sableuse dans ce milieu désertique. C'est ce qui explique la présence d'horizons superficiels sableux à structure particulaire. En ce qui concerne le pH, de manière générale, le caractère physico-chimique du milieu est marqué par une légère acidité des sols dans les deux sites. En effet, le pH est un important indicateur dans l'évaluation de la fertilité du sol et de son environnement ; Minda [11] avait mentionné qu'un pH compris entre 6,0 et 7,5 créait une condition optimale pour la disponibilité de nutriments pour la plupart des plantes. Les sols sont saturés en bases échangeables notamment en  $\text{Ca}^{2+}$ . Des résultats similaires ont été trouvés par Ndiaye [13] dans la zone sahélienne. Ce phénomène est plus perceptible dans les dépressions. Les sols présentent une conductivité électrique très faible et donc sont non salés. Ces faibles valeurs de conductivité électrique seraient liées à une dilution de la solution du sol dans ce milieu

argileux des bas-fonds où l'eau séjourne assez longtemps ; en effet, c'est l'effet de la nappe qui est proche de la surface (30-60 cm) et par le régime hydrique de l'irrigation. La salinité est dominée par  $\text{Na}^+$  [14]. Les sols ont des teneurs très faibles en azote. La minéralisation de la matière organique y est assez lente comme en témoignent les rapports C/N indicateurs de l'intensité de l'activité biologique dans le sol [13]. La pauvreté des sols en azote au niveau des dépressions serait non seulement liée à la minéralisation trop lente de la matière organique dans ce milieu argileux, mais aussi au faible taux de cette dernière dans le site [15]. Cet état de pauvreté du sol en matière organique pourrait s'expliquer par la disparition progressive de la végétation [16]. Les valeurs relativement un peu supérieures du taux de matière organique dans les horizons de surface du sol se justifient naturellement par le fait que c'est à ce niveau que se trouve concentrée la biomasse racinaire des plantes [17] ; en effet, la présence de la végétation ligneuse dans les vallées contribue, par ailleurs, à améliorer la fertilité des sols [18]. En effet, la fonction d'amélioration de la fertilité des sols serait l'une des principales raisons qui justifient le choix délibéré de laisser la végétation ligneuse dans ces bas-fonds [19]. La capacité d'échange cationique est faible dans les sols de notre zone d'étude. Cela serait dû à leur texture sableuse qui ne permet pas un stockage de la matière organique [20]. En d'autres termes, la pauvreté des sols en colloïdes minéraux (argiles) ne favorise pas la mise en place d'un complexe argilo-humique très actif [21].

La faible capacité d'échange cationique des sols s'expliquerait aussi par une pauvreté en colloïdes minéraux [22]. De manière générale, la capacité d'échange cationique est contrôlée surtout par la nature et les taux d'argile [23]. La matière organique et l'argile constituent la fraction la plus active du complexe adsorbant du sol. Cette fraction confère au sol une forte capacité de fixation des cations [13]. En effet, l'excès d'un de ces éléments dans le sol peut inhiber l'absorption des autres par les plantes. Les sols de la zone d'étude sont pauvres en phosphores assimilables. De manière générale, les teneurs en phosphore assimilable des sols ferrugineux tropicaux sont faibles [11, 24] et la zone d'étude (Wadi Fira-Est et Ennedi-Est) ne fait pas exception. Cependant, dans les horizons superficiels des bas-fonds, les teneurs assez moyennes en phosphore assimilable pourraient être liées au passage du cheptel qui favorise un apport via les déjections sous forme de fumiers [25]. Quel que soit la nature du sol, le phosphore est un élément très peu mobile et migre en profondeur en très faible quantité d'où les faibles teneurs notées en profondeur [13]. Les teneurs en bases échangeables sont faibles de façon globale (surtout en calcium et magnésium) ; cette faiblesse des teneurs des bases échangeables s'expliquerait par la maturité plus avancée de ces sols constitués presque exclusivement de sables squelettiques [13] ; L'Analyse en Composantes Principales a permis de différencier trois groupes (G1, G2 et G3) de sols dans la zone d'étude en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques.

## V - CONCLUSION

La caractérisation pédologique de la zone d'étude a permis de mettre en évidence un type de sol ferrugineux en fonction de la texture. Les sols de Wadi Fira-Est et de l'Ennedi-Est présentent une texture sableuse. Les parcours de la grande muraille verte du Tchad sont donc caractérisés par des sols sableux à argilo-sableux et une teneur très faible en matière organique. Les résultats montrent aussi que les teneurs en bases échangeables, en phosphore, en azote, en matière organique et la capacité d'échange cationique sont faibles dans les sols des plateaux et moyennes dans ceux des bas-fonds. Les faibles teneurs de ces sols en matière organique observées partout, peuvent être compensées par une fertilisation organique. Une contrainte majeure à la production végétale se dégage dans ce milieu, la faible teneur en azote. Aussi, trois groupes de sols ont été identifiés dans la zone d'étude en fonction de leurs paramètres physico-chimiques. Ce sont entre autre le groupe G1 composé de sols sableux non salés et pauvres en azote avec un CEC faible, localisé à Wadi Fira -Est et à l'Ennedi Est ; le groupe G2 constitué de sols sableux non salés, avec une faible capacité d'échange cationique et une pauvreté en matière organique rencontré dans le Wadi Fira-Est et le groupe G3 composé de sols sableux non salés, faible en limon et en potassium disponible capacité à Wadi Fira-Est. Le gradient pluviométrique Ouest – Est n'est pas vraiment linéaire. L'amélioration des diverses contraintes pédologiques ainsi soulignées pourrait améliorer les propriétés des sols et serait une solution pour une bonne croissance et un meilleur développement des plantes.

## RÉFÉRENCES

- [1] - SNPA/GMV, Stratégie nationale et plan d'actions pour la mise en œuvre de l'initiative grande muraille verte au Tchad. Ministère de l'environnement et des ressources halieutiques, (2012) 70 p.
- [2] - D. THEMOI, K. LAOUKOURA et D. LAOUBEUL, Evaluation de la contribution de la pêche à l'économie du Tchad, (1996) 53 p.
- [3] - W. KIDANE, M. MAETZ et P. DARDEL, Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique subsaharienne. Dossier pour l'accroissement des soutiens publics. Rapport principal. Rome, FAO, (2006) 108 p.
- [4] - FAO, Situation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture. Collection FAO : Agriculture, n° 26. ISBN 92-5-203360-2. Rome 1993, (2003) 14 p.
- [5] - A. WEZEL, Local knowledge of vegetation changes in Sahelian Africa - implications for local resource management. In The Sahel Current

- politics in West Africa- The use of local knowledge in applied research- Participation in project planning and capacity building. Serein occasional paper 17. Lykke A.M., Due M.K., Kristensen M. and, Nielsen I. (eds.), (2004) 37 - 51 p.
- [6] - N. HULUGALLE, R. LAL et C. H. H. TERKUILE, Amelioration of soil physical properties by Mucuna after mechanized land clearing of a tropical rainforest. *Soil Science*, 141 (1986) 219 - 224
- [7] - P. A. SANCHEZ, *Sciences in agroforestry. Agrofor. Syst.*, 30 (1995) 5 - 6
- [8] - ASECNA, Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar. Paramètres météorologiques relatifs à la période 2011-2012. Ndjamena-Tchad. Fiche de relevés climatiques, (2012) 12 p.
- [9] - C. DERVIN, « Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances ? » - I.N.R.A. – I.N.A. – P.G. Mathématiques–Informatique–Biométrie, (1990) 75 p.
- [10] - P. CIBOIS, Principe de l'Analyse Factorielle. [http://cibois. pagesperso-orange.fr/PrincipeAnalyseFactorielle.pdf](http://cibois.pagesperso-orange.fr/PrincipeAnalyseFactorielle.pdf), (2006) 34 p.
- [11] - M. MINDA, Caractérisation des sols et de la végétation ligneuse sur le tracé de la grande muraille verte du Tchad. Thèse de doctorat, UCAD-FST, Département de Biologie Végétale, (2015) 148 p.
- [12] - P. DUCHAUFOUR, Pédologie. 1. Pédogénèse et classification. Masson. Paris, (1977) 477 p.
- [13] - O. Ndiaye, Caractérisation des sols et de la végétation de la zone du Ferlo, nord Sénégal. Mémoire de Thèse, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (2013) 131 p.
- [14] - 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.
- [15] - D. SOLTNER, Les bases de la production végétale. Tome II - le climat : climatologie-pédologie-conservation des sols. 8ème édition, (1999) 328 p.
- [16] - A. THIAW, Contribution à la Caractérisation Biodepoclimatique de la région de Kaffrine (zone centre-ouest-Sénégal). Mémoire de DEA, Université. Cheikh Anta Diop, Dakar, (2009) 58 p.
- [17] - L. FRUIT, S. RECOUS et G. RICHARD, Plant residue decomposition : effect of soil porosity and particle size. In effect of mineral-organic microorganism interactions on soil and freshwater environments, Ed Berthelin *et al.*, (1999) 189 - 196
- [18] - M. DASYLVA, N. NDOUR, M. A. A. DIEDHIOU et B. SAMBOU, Caractérisation Physico-Chimique des Sols des Vallées Agricoles de la Commune de Ziguinchor au Sénégal, *European Scientific Journal* May 2019 édition, Vol. 15, N°15 ISSN : (2019) 1857 - 7881 (Print) e - ISSN18577431 ; URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p165>

- [19] - M. DASYLVA, N. NDOUR, B. SAMBOU, C-T. SOULARD, Les micro-exploitations agricoles de plantes aromatiques et médicinales : élément marquant de l'agriculture urbaine à Ziguinchor, Sénégal. *Cah. Agric.*, 27 25004 (2018) 9 p. DOI : <https://doi.org/10.1051/cagri/2018011>
- [20] - C. PIERI, Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. CIRAD, (1989) 444 p.
- [21] - B. NIANG, Etude diagnostique de la fertilité des terres de la vallée de Thiaré, région de Fatick, (centre ouest Sénégal). Mémoire DEA, FST, UCAD, ISE, (2012) 81 p.
- [22] - M. C. MAREAUX, Appréhender une analyse de sol. Chambre d'agriculture des Pyrénées atlantiques, (2010) 5 p.
- [23] - D. BAIZE et B. JABIOL, Guide pour la description des sols - INRA éditions, (1995) 375 p.
- [24] - LAURENT et BROSSARD, Evolution à court terme des formes du phosphore d'un sol ferralitique après apports d'une boue urbaine, *Agronomie*, 8 (11) (1991) 699 - 706, in AGRIS since 2016
- [25] - M. D. DIALLO, M. M. SALEH, O. NDIAYE, A. DIOP, A. GUISSÉ, Influence de la décomposition de la nécro-masse des espèces végétales tropicales sur le pH et la structure génétique des communautés bactériennes d'un sol ferrugineux tropical au Sénégal, *Journal of Applied Biosciences*, 91 (2015) 8547 - 8558, ISSN 1997 - 5902