



Erosion éolienne et dégradation des sols dans le bassin du fleuve Sénégal : l'exemple de la zone sylvopastorale

Gallo NIAN¹, Néné DIA²

1. Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), gallo1.niang@ucad.edu.sn,
2. Laboratoire de Géographie Humaine (GéoHu), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar,

Résumé : Dans le bassin du fleuve Sénégal, les changements environnementaux globaux ont contribué à la dynamique de l'érosion éolienne, particulièrement dans la zone sylvopastorale où l'enjeu de la conservation des sols se pose avec acuité. L'objectif de ce travail est d'analyser les facteurs de la dégradation des sols en rapport avec la multiplication des forages et la dynamique éolienne. La méthodologie est basée sur une série d'analyses de sédiments, de l'efficacité morphologique du vent. Les résultats révèlent une dégradation des sols par vannage éolien, par alcalisation et par acidification. La dynamique éolienne est l'aboutissement d'un processus de dénudation, d'ameublissement et de tassement des sols lié à la combinaison de différents facteurs tels que la péjoration climatique, la surcharge du bétail dans les aires de desserte autour des forages, la fréquence accrue des vents chauds et secs du Cadran Nord à Est dont la vitesse maximale moyenne mensuelle dépasse 4,8 m/s. Elle est associée pendant la saison des pluies à des processus de lessivage et de lixiviation de substances chimiques provoquant, par endroits, des situations d'alcalinisation et d'acidification.

Mots-clés : Bassin du fleuve Sénégal, dégradation des sols, érosion éolienne, zone sylvopastorale

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.23339619>

1 Introduction

Le bassin du fleuve Sénégal, particulièrement dans sa partie sénégalaise, abrite des écosystèmes arides et semi-arides. Localisés dans les terres lointaines et non atteintes par les crues du fleuve, ces écosystèmes couvrent de vastes étendues dans la zone sylvopastorale et sont exploités par les pasteurs et leurs troupeaux. D'ailleurs, l'élevage pastoral est « reconnu comme valorisant le mieux les ressources offertes dans les écosystèmes arides et semi-arides, de manière singulièrement efficace, tant du point de vue économique que technique » (Jacquemot, 2023). Les pratiques de cette activité de « production, de consommation et de commercialisation » (FAO et CICAD, 2012) s'inscrivent dans un système extensif et se traduisent par des mouvements pendulaires quotidiens de bétail entre parcours naturels et points d'eau (forage, puits et mares) et par des migrations saisonnières de troupeaux (transhumance). Toutefois, la multiplication des forages depuis les années 1950, la création du ranch de Dolly en 1960, le déclassement de forêts, l'implantation des unités pastorales ont contribué à changer les modes de déplacement des troupeaux du bétail et à restreindre leurs mobilités (Cesaro, Magrin, Ninot, 2009). Ces changements favorisent entre autres le surpâturage dans les aires de concentration du bétail telles que les mares, les forages, les zones de pâturage et soulèvent des questions sur la qualité des sols dans un contexte marqué aussi par les effets de la péjoration climatique.

La zone sylvopastorale est située dans le domaine sahélien continental. Elle est confrontée à une grande précarité liée à sa position géographique, à son mode d'occupation et de mise en valeur de l'espace. Elle constitue ainsi un excellent laboratoire d'observations scientifiques des phénomènes de dégradation environnementale résultant des



effets cumulés de la péjoration climatique et des activités de l'élevage extensif. L'objectif de cette étude est d'analyser l'érosivité des vents et la dégradation de la structure superficielle des sols dans la zone sylvo pastorale.

2 Méthodologie

2.1 Cadre géographique

La zone sylvo pastorale est située dans la partie sénégalaise du bassin du fleuve Sénégal (figure 1). Elle couvre les départements de Linguère et de Ranérou. Sa structure pédologique, principalement constituée par des dépôts de sables ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés et bruns rouges subarides, est meuble et mal couverte par des formations sénescents de steppes arbustives et arborées.

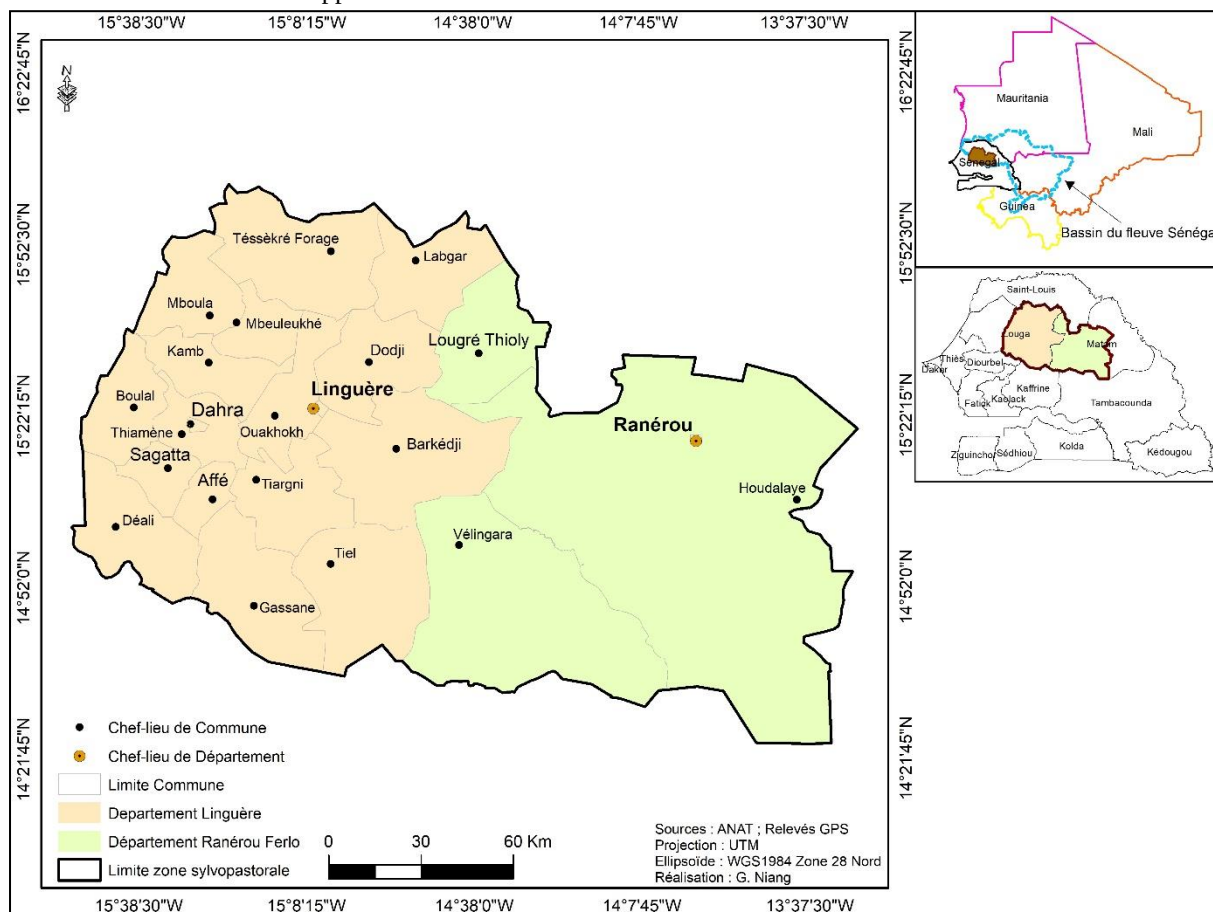


Figure 1 : Localisation de la Zone Sylvo Pastorale (ZSP)

2.2 Matériel et méthodes

Dans ce présent travail, la démarche méthodologique adoptée est basée sur une analyse de la direction, de la vitesse du vent et d'une étude sédimentaire des échantillons de sols.

2.2.1 Analyse des vents

Les données sont téléchargées à partir de la plateforme Global Modeling And Assimilation Office (GMAO) de la NASA et concernent deux sites : Linguère (15°23'39''N et 15°07'03''O) et Ranérou (15°18'01''N et 13°57'28''O). La série de données (vitesses maximales en m/s et direction dominante en degré) couvre la période 2000-2022 et caractérise une distribution mensuelle.

En vue d'apprécier la capacité de déflation des vents, l'évolution mensuelle des vitesses maximales (2000-2010 et 2011-2022) et la fréquence directionnelle sont analysées à l'aide des représentations graphiques. La vitesse maximale instantanée et la fréquence directionnelle des vents dominants sont prises en compte dans cette analyse. La méthode consiste à calculer les moyennes mensuelles des vitesses maximales instantanées des périodes 2000-2010 et 2011-2022 pour chaque station et les représenter graphiquement (courbe d'évolution) à l'aide de l'outil

Excel de l'application Microsoft Office 2016. L'analyse comparée des deux périodes a permis de révéler les changements intervenus dans l'évolution mensuelle des vitesses maximales instantanées des vents.

En outre, la fréquence de chaque direction pour toute la série (2000-2022) a été calculée, puis la fréquence directionnelle du vent dominant pour chaque mois a été représentée par un histogramme.

2.2.2 Etude des sédiments

Un échantillonnage sédimentaire a été effectué au courant du mois de mai en 2024. Le protocole consiste à prélever des échantillons de sédiments sur l'horizon superficiel (0-15 cm) de différentes unités morpho-pédologiques. Ainsi, l'échantillonnage a été réalisé dans quatre (04) sites (figure 2) présentant des caractéristiques différentes du point de vue morphologique, topographique, pédologique et d'occupation du sol (tableau 1). Le choix des sites répond aussi à une volonté d'équilibrer entre les deux départements.

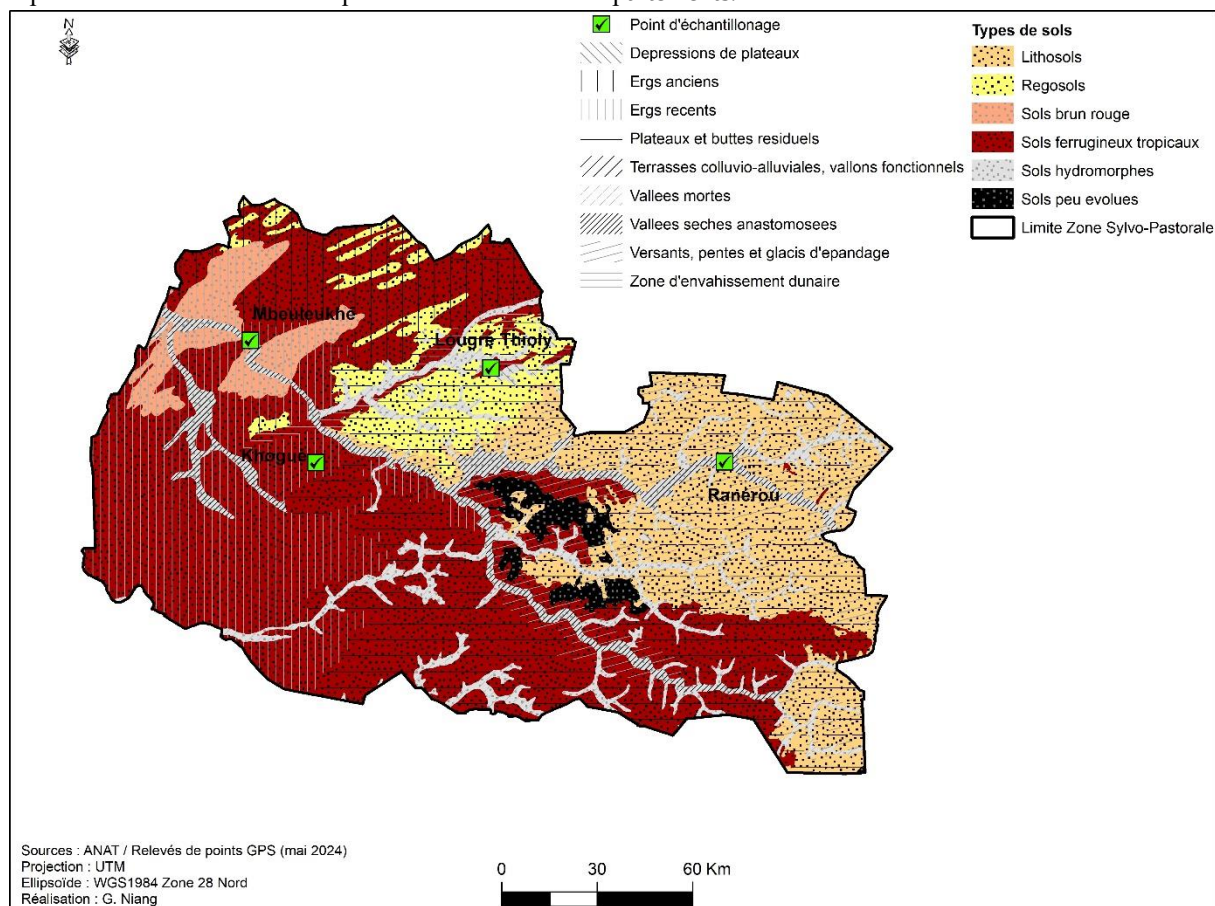


Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage

Tableau 1 : Caractéristiques des points d'échantillonnage

Sites	Points d'échantillonnage		Altitude (m)	Séquences géomorphologiques	Type de sol	Occupation du Sol
	X	Y				
Mbeuleukhé	462252	1729732	11	Vallée sèche anastomosée	Sols hydromorphes et sols ferrugineux tropicaux	Jachère
Khogué	482887	1691208	40	Erg récent	Sols ferrugineux tropicaux	Pâturage
Lougré Thioly	537857	1721003	34	Zone d'envahissement dunaire	Sols hydromorphes et sols ferrugineux tropicaux	Pâturage

Ranéro	611393	1691451	33	Vallée sèche anastomosée	Sols hydromorphes et lithosols	Pâturage
--------	--------	---------	----	--------------------------	--------------------------------	----------

Source : Relevés de terrain, juin 2024

Au laboratoire, le traitement des échantillons concerne la granulométrie, le pH et la conductivité électrique (CE). Un traitement granulométrique par tamisage des fractions comprises entre les mailles 2 mm et 0,002 mm (tableau 2) a été réalisé afin d'apprécier le degré de sensibilité de l'horizon superficiel des sols aux vents. En outre, la détermination avec précision de la texture des sols dans les différents sites implique une classification, selon le diamètre (d) du grain, des fractions granulométriques en trois catégories :

- Sables (2 mm > d > 0,05 mm),
- Limons : 0,05 mm > d > 0,002 mm,
- Argiles (d < 0,002 mm).

Tableau 2 : Fractions granulométriques selon la terminologie de Wentworth (1922)

Diamètre (d)	Interprétation
2 mm > d > 1 mm	Sable très grossier (STG)
1 mm > d > 0,5 mm	Sable grossier (SG)
0,5 mm > d > 0,25 mm	Sable moyen (SM)
0,25 mm > d > 0,1 mm	Sable fin (SF)
0,1 mm > d > 0,05 mm	Sable très fin (STF)
0,05 mm > d > 0,002 mm	Limon (L)
d < 0,002 mm	Argile (A)

Les courbes granulométriques obtenues sont interprétées à l'aide des Coefficients d'uniformité de Hazen (C_u) et de courbure (C_c) qui sont déterminés à partir de chaque courbe (Diallo, 2011 ; Thior *et al.*, 2019 ; Gouba, 2023). Le C_u est défini par le rapport entre deux diamètres apparents, D_{60} et D_{10} , qui représentent le diamètre des grains (mm) correspondant à 60 % et à 10 % du passant sur la courbe cumulative semi-logarithmique de sédiments :

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Le C_u permet de qualifier la granulométrie des sables :

- Si $C_u < 2$, la granulométrie est uniforme ou encore serrée ;
- Si $C_u > 2$, la granulométrie est variée ou encore étalée.

Le C_c est défini par le rapport entre le carré du diamètre effectif des particules correspondant à 30 % du passant (D_{30}) et le produit des diamètres effectifs des particules correspondant à 10 % (D_{10}) et 60 % (D_{60}) du passant sur la courbe cumulative semi-logarithmique de sédiments. Le C_c est obtenu par la formule suivante :

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} / D_{60})$$

Ce coefficient vient en complément de C_u dans la classification des sols et permet de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (Diallo, 2011). Il est traduit selon les expressions ci-dessous :

- Si $1 < C_c < 3$, la granulométrie est bien graduée et est matérialisée par une courbe continue, c'est-à-dire caractérisée par la présence d'une grande variété de diamètres.
- Si $C_c < 1$ ou $C_c > 3$, la granulométrie est mal graduée et est matérialisée par une courbe discontinue, c'est-à-dire marquée par l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D_{10} et D_{60} .

En outre, le traitement granulométrique est complété par l'étude du pH (tableau 3) et celle de la conductivité électrique (CE) (tableau 4) à partir des fractions fines (limons et argiles).

Tableau 3 : Interprétation du pH

Gamme de pH	Interprétation
$\leq 4,5$	Sol extrêmement acide
4,6 – 5,2	Sol très acide
5,3 – 5,5	Sol acide
5,6 – 6	Sol modérément acide
6,1 – 6,6	Sol légèrement acide
6,7 – 7,2	Sol neutre
7,3 – 7,9	Sol légèrement alcalin
8 – 8,5	Sol alcalin
$\geq 8,6$	Sol très alcalin

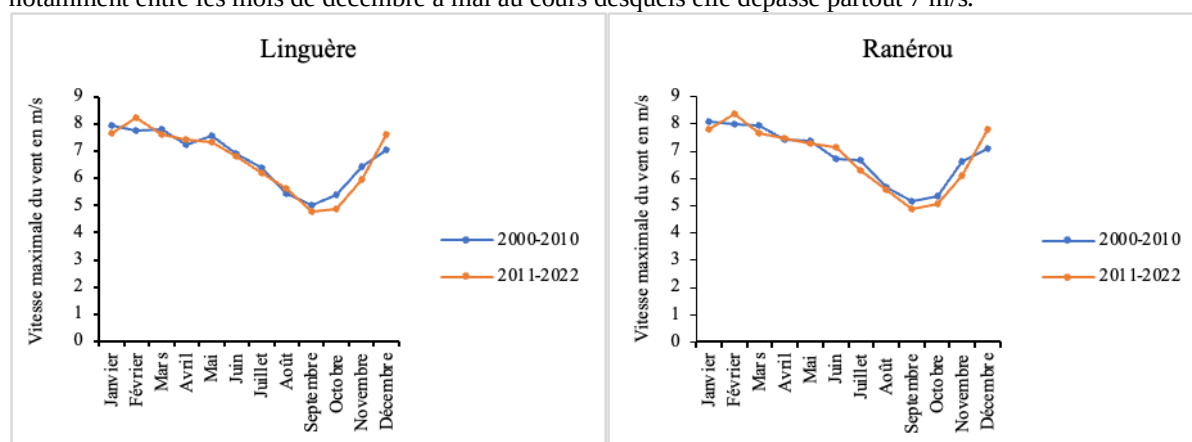
Tableau 4 : Appréciation de la salinité du sol selon la conductivité électrique (CE) (Bocoum,2004)

CE/10 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Interprétation
< 250	Sol non salin
250 - 500	Sol légèrement salin
501 - 1000	Sol salin
1001 - 2000	Sol très salin
> 2000	Sol extrêmement Salin

3 Résultats

3.1 Analyse de l'érosivité des vents

L'évolution mensuelle de la vitesse maximale instantanée du vent entre 2000 et 2010 et entre 2011 et 2012 (figure 3) met en exergue la configuration saisonnière de la déflation éolienne dans les départements de Linguère et de Ranérou. En effet, l'allure des courbes montre une évolution unimodale dont le maximum intervient, pour chaque période considérée, au cours d'un mois de la saison sèche et le minimum au cours d'un mois de la saison pluvieuse. Durant la période 2000-2010, le maximum est enregistré en janvier avec 7,93 m/s à Linguère et 8,10 m/s à Ranérou et le minimum en septembre avec 5,02 m/s à Linguère et 5,16 m/s à Ranérou. Durant la période 2011-2022, le maximum est obtenu au mois de février avec 8,23 m/s à Linguère et 8,37 à Ranérou et le minimum en septembre avec 4,8 m/s à Linguère et 4,87 m/s à Ranérou. Ainsi, la vitesse du vent est plus importante pendant la saison sèche notamment entre les mois de décembre à mai au cours desquels elle dépasse partout 7 m/s.

**Figure 3** : Evolution mensuelle de la vitesse maximale du vent entre 2000 et 2010 et entre 2011 et 2022

Entre 2000 et 2022, la fréquence directionnelle du vent est quasi similaire à Linguère et à Ranérou, mais varie selon les saisons (figure 4). Pendant les mois de novembre à avril, les vents du N, NNE, NE, ENE et E dominent la circulation. Durant cette période de la saison sèche, ce sont des vents chauds et secs de l'alizé continental (harmattan) qui, du fait de leur faible teneur en humidité, soufflent avec des vitesses les plus élevées variant entre 2011 et 2022 de 5,95 m/s à 8,23 m/s à Linguère et de 5,6 m/s à 8,37 m/s à Ranérou et disposent suffisamment de forces pour charrier les poussières et braser les sables émis dans les aires de pâturage et autour des forages. Pendant les mois de mai à octobre domine la circulation des vents du NNO, ONO, O, OSO et SO. Ces vents représentent la mousson qui, chargée d'humidité à cause de son parcours océanique, souffle avec des vitesses relativement plus faibles que celles des alizés continentaux du N, NNE, NE, ENE et E. Les mois de mai et d'octobre coïncident ainsi avec la rencontre entre alizé et mousson et constituent des mois de transition.

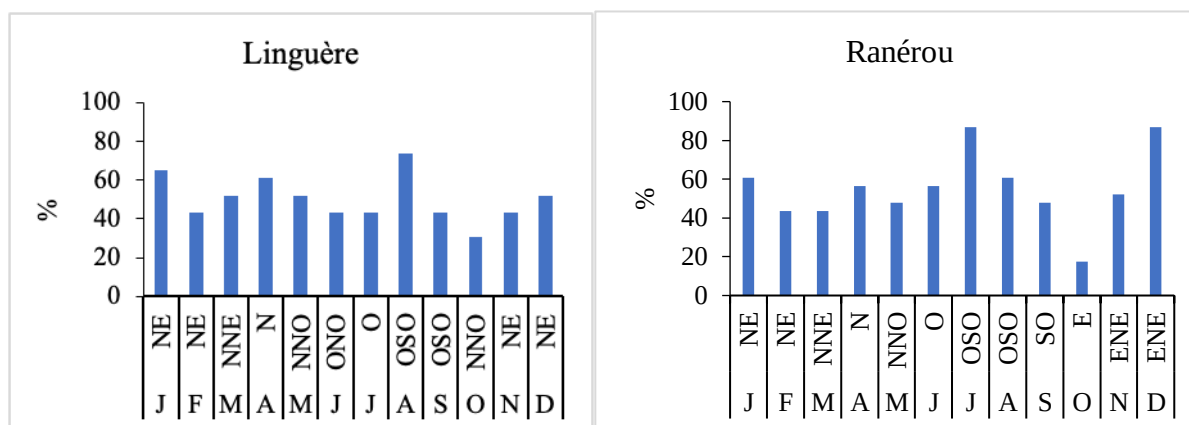


Figure 4 : Fréquence mensuelle des directions dominantes de 2000 à 2022

D'une manière générale, les vents qui animent la circulation à la surface du sol dans la zone sylvopastorale ont des vitesses maximales instantanées dépassant 4,8m/s durant toute l'année. Cependant, leur efficacité morphologique c'est-à-dire leur capacité à remobiliser les particules sédimentaires dépend aussi de la distribution granulométrique.

3.2 Analyses sédimentologiques des échantillons de sol

L'étude sédimentologique des échantillons de sols prélevés sur différentes séquences géomorphologiques met en évidence la distribution de la granulométrie, de l'acidité et de la conductivité des sols dans la zone sylvo pastorale. La distribution des fractions granulométriques des échantillons met en exergue la prédominance de sables dans tous les sites dont la proportion dépasse partout 70 % des échantillons (figure 3).

Toutefois, la concentration de limons est non négligeable et est variable entre 13 % et 22,8 % ; tandis que la présence d'argiles n'est quasiment significative qu'à Khogué (5,73 % de l'échantillon).

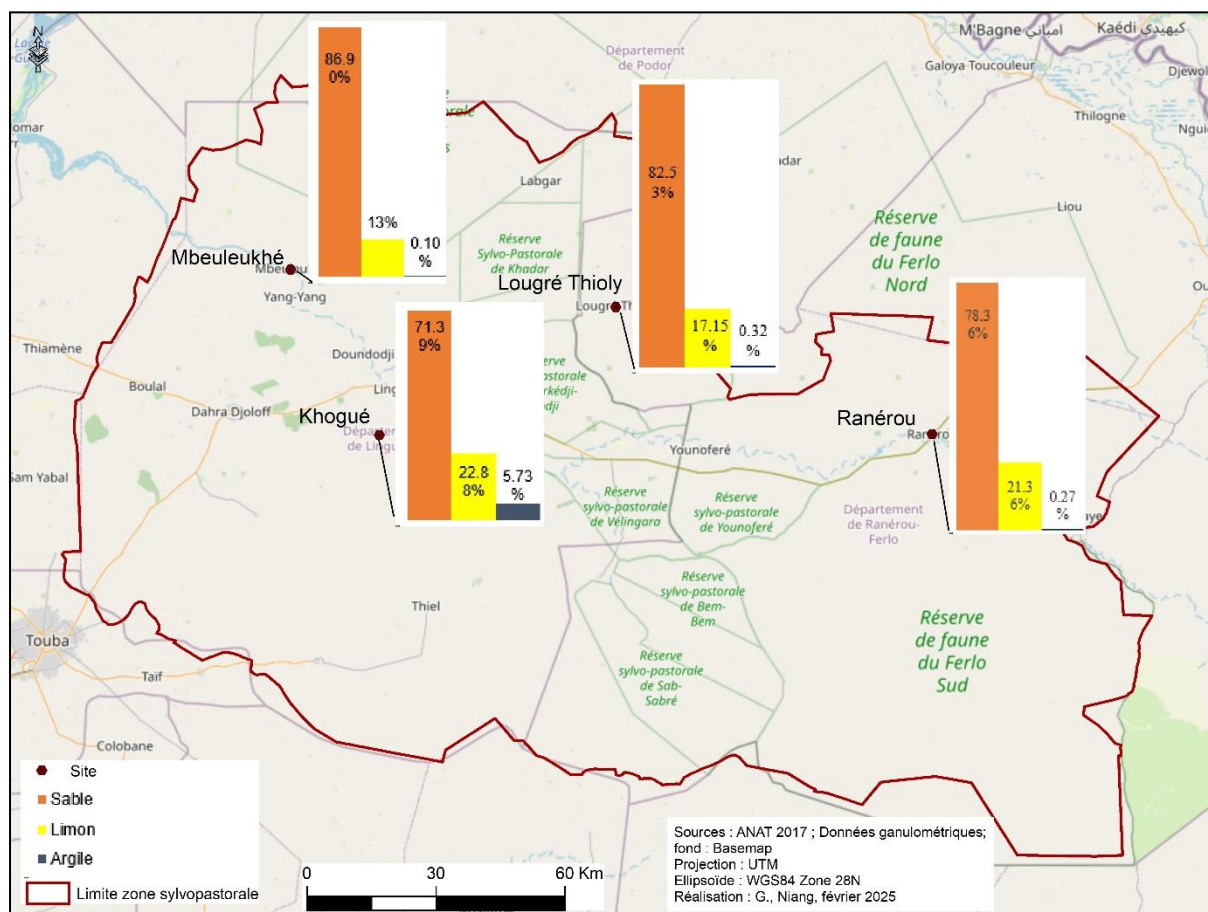


Figure 5 : Distribution des fractions granulométriques des échantillons de sols

Ces caractéristiques texturales établissent une présence de sols sablo-limoneux sur toutes les séquences géomorphologiques (vallée, erg récent, zones d'invasion dunale) dont la sensibilité à l'érosion éolienne peut être déterminée par l'analyse des courbes granulométriques.

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des différents échantillons de sols sont, toutes, sigmoïdes (en forme de S à pente forte) et bien redressées sur les fractions situées entre 0,002 mm et 2 mm, en dépit des différences remarquables dans leur allure (figure 4). L'observation plus fine révèle que D_{10} est égal à 0,05 mm, D_{60} = 0,2 mm et D_{30} = 0,1 mm (à l'exception de celui de Khogué où D_{30} = D_{60} = 0,1 mm). Ainsi, le coefficient de Hazen (C_u) est inférieur à 2 pour tous les échantillons et indique une granulométrie uniforme ou encore serrée. Cette situation témoigne d'une prédominance de sédiments fins (diamètre inférieur à 0,2 mm) qui représentent plus 70 % des passants cumulés des différents échantillons : 71,9 % à Lougré Thioly, 72,2 % à Ranérou, 92,3 % à Mbeuleukhé et 94,8 % à Khogué. Le C_c , compris entre 1 et 3 pour tous les échantillons, confirme l'uniformité de cette granulométrie fine. Cependant, le léger décalage entre les courbes cumulatives montre l'existence d'un contraste dans les conditions d'accumulation sédimentaires entre les sites. La courbe de Khogué, décalée vers la gauche, caractérise une accumulation plus sélective de particules fines. Les courbes de Ranérou et de Lougré Thioly, décalées vers la droite, sont, par contre, caractéristiques d'un dépôt moins sélectif. Ces deux courbes, quasi superposées, témoignent d'une similitude dans la dynamique de la mise en place des sédiments entre les deux sites.

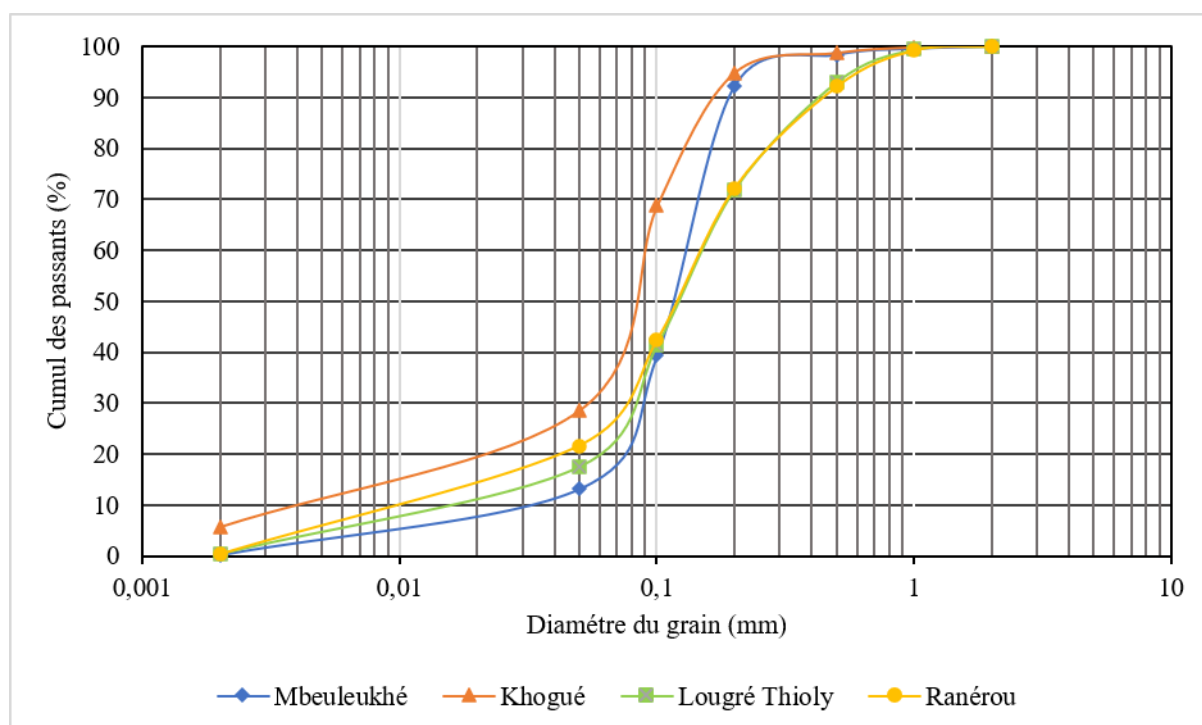


Figure 6 : Courbes granulométriques des échantillons

Par ailleurs, l'asymétrie sédimentaire vers les sables fins, sables très fins et limons atteste une forte sensibilité des sols de la zone sylvo pastorale aux vents. Ces sols, présentant des potentialités importantes par rapport aux activités sylvo pastorales, ont par ailleurs fait l'objet de l'analyse de leur acidité et de leur conductivité.

La figure 5 met en exergue des sols légèrement alcalins dans le lit de la vallée sèche anastomosée à Mbeuleukhé et sur le versant dunaire de l'Erg récent à Khogué (pH étant entre 7,3 et 7,9), légèrement acides dans la zone d'invasion dunaire à Lougré Thioly (pH compris entre 6,1 et 6,6) et modérément acides dans le lit de la vallée sèche anastomosée à Ranérou (pH compris entre 5,6 et 6). Elle a également fait état d'une CE < 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans tous les sites, indiquant alors des sols non salins.

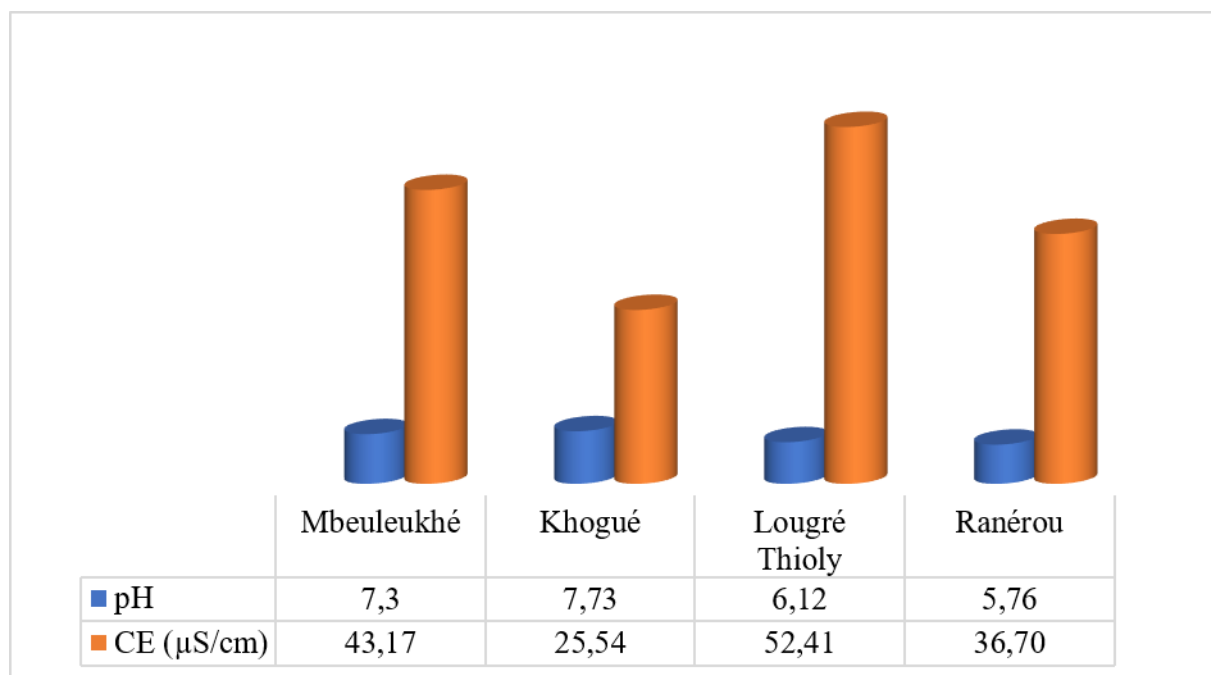


Figure 7 : pH et CE des échantillons

4 Discussion

Les résultats de l'analyse du vent dans la zone sylvopastorale indiquent des intensités élevées qui dépassent partout 4,8 m/s. Ces vitesses maximales instantanées, légèrement plus élevées à Ranérou (de 5,6 m/s à 8,37 m/s) qu'à Linguère (5,95 m/s à 8,23 m/s) sont plus importantes durant une grande partie de la saison sèche (novembre-avril) pendant laquelle les vents des secteurs N, NNE, NE, ENE et E domine la circulation. Il apparaît ainsi clairement que la vitesse-seuil de la déflation que des études ont fixé à 4,4 m/s dans le delta du fleuve Sénégal (Sy, 2015) et à 3,4 m/s dans les bassins versants la basse vallée du Ferlo et du lac de Guiers (Niang, 2021) est largement atteinte dans la zone sylvopastorale. Ces vents soufflent sur des unités morpho-pédologiques héritées, en majorité, du Quaternaire dont les effets du changement climatique et des activités agropastorales engendrent la désagrégation mécanique et l'ameublissement de leurs horizons superficiels. De ce fait, le seuil critique de déflation, c'est-à-dire la vitesse à partir de laquelle le vent devient compétent pour décrocher et déplacer des particules sédimentaires, de ces unités morpho-pédologiques est faible. Ces résultats sont similaires à ceux de Ozer (2000), Niang (2008), Sy (2015) et Niang (2021) qui ont montré que cette vitesse-seuil tend généralement à la baisse suite à la forte pression physique et anthropique. Celle-ci a été fixée, pour la période postérieure à l'année 2000, à 4 m/s dans le Sud de la Mauritanie (Ozer, 2000; Niang, 2008) à 4,4 m/s dans le Sahel sénégalais (Sy, 2015) à 3,4 m/s dans le système dunaire du Ferlo (Niang, 2021). Ainsi, la remobilisation par le vent des particules de sables Ogolien de l'Erg récent, des dépôts sablo-limoneux et argileux de la vallée morte anastomosée et de la zone d'envahissement dunaire dépend de la couverture végétale mais aussi et surtout de la distribution granulométrique dans ces différentes séquences géomorphologiques.

Les analyses sédimentologiques des échantillons de sols prélevés sur différents sites ont fait état d'une granulométrie située dans les compétences des vents et des indices de dégradation par alcalinisation et par acidification. En effet, toutes les courbes granulométriques indiquent la prédominance de la fraction fine caractérisée par une concentration de plus de 70 % des passants cumulés dans les diamètres inférieurs à 0,2 mm, un coefficient d'uniformité (C_u) inférieur à 2 et un coefficient de courbure (C_c) comprise entre 1 et 3 attestant une granulométrie serrée et bien graduée. Ces résultats sont similaires aux nombreuses études granulométriques réalisées sur le Ferlo (Diallo, 2011; Ndiaye, 2013; Ba, 2018; Niang, 2021; Niang, et al., 2022). Cependant, le léger décalage relevé sur les courbes cumulatives indique une variation spatiale de l'accumulation sélective des éléments fins dans les horizons superficiels des sols. Le même constat a été établi sur une échelle plus fine du bas-Ferlo par Niang et al. (2022). La prédominance de la fraction sableuse notamment les sables fins (0,2-0,1 mm) et les sables très fins (0,1-0,05 mm) dans tous les sols échantillonnés et les effets du piétinement dans les aires de concentration des troupeaux de bétail (forages, aires de pâtures) témoignent de la faible cohésion qui existe entre ces particules fines. Ces sols, présentant un horizon superficiel peu compact voire meuble, se caractérisent par une texture sablo-limoneuse et une structure fragmentaire à particulaire (Diallo, 2011; Ndiaye, 2013).

Ces caractéristiques démontrent à suffisance que la remobilisation éolienne de ces particules n'est pas assujettie à une grande vitesse. Outre cet état d'une dégradation mécanique des sols de la zone sylvopastorale, les résultats ont révélé aussi des caractères de dégradation chimique.

En considérant le pH, les sols étudiés de la zone sylvopastorale sont légèrement alcalins dans le secteur Ouest (à Mbeuleukhé et à Khogué) et légèrement acides (à Lougré Thioly) voire modérément acides (à Ranérou) dans le secteur Nord-est. Ces résultats corroborent parfaitement avec les travaux Diallo (2011) et Ndiaye (2013) qui révèlent une variabilité spatiale du pH dans la zone sylvopastorale.

Le caractère alcalin des sols peut être expliqué par leur proximité à la vallée anastomosée du Ferlo qui est temporairement envahie par les eaux issues du bassin agricole du lac de Guiers, reposant sur une nappe caractérisée par une forte concentration de sodium (Degalier, 1962). Par ailleurs, le calcium est la base échangeable la plus représentée surtout au niveau des bas-fonds du Ferlo Sud où il atteint des teneurs supérieures à 12 % dans les sols alcalins (Ndiaye, 2013). Le caractère acide des sols, relié à l'agressivité climatique et à la lixiviation de leur calcium par les eaux pluviales, entrave la biodisponibilité des éléments nutritifs dans ces sols (Diallo, 2011; Ndiaye, 2013). Ces sols acides sont particulièrement sensibles au lessivage (de la pluie) qui diminue le taux de saturation en bases et aggrave encore l'acidification (Diallo, 2011).

D'une manière générale, ces pH proches de la neutralité peuvent être reliés aux faibles proportions de la matière organique et à l'absence totale de sels dans les sols. Les sols étudiés dans la zone sylvopastorale ne sont pas salés ($CE < 250 \mu S/cm$). Cette absence de salinisation des sols pourrait être expliquée par l'absence d'une intrusion marine et d'irrigation par des eaux salées. Cependant, les plus grandes CE observées dans les sites de Lougré Thioly (52, 41 $\mu S/cm$) et de Mbeuleukhé (43,17 $\mu S/cm$) pourraient être expliquées par leur proximité avec la vallée du Ferlo. Ces résultats corroborent avec ceux de Kébé et al., 2020 réalisés sur le Ferlo Nord.

5 Conclusion

En définitive, les sols de la zone sylvopastorale se caractérisent par une dégradation à la fois mécanique et chimique. L'analyse des vents a révélé des intensités élevées (plus de 4,8 m/s) durant toute l'année avec de faibles variations spatiales entre les départements de Ranérou et de Linguère. Les maxima (7,93 m/s à 8,37 m/s) sont enregistrés lors de la circulation des alizés continentaux des secteurs N, NNE, NE, ENE et E entre novembre et avril. Les minima sont obtenus pendant la circulation des vents du NNO, ONO, O, OSO et SO entre juin et octobre. Ces vents sont morphologiquement efficaces d'autant plus qu'ils soufflent sur des unités morpho-pédologiques héritées du Quaternaire et soumis de façon continue aux effets climatiques et agropastoraux.

L'étude sédimentologique fait état d'une distribution granulométrique dominée, dans tous les sites, par les sables fins et les limons qui sont dans les compétences du vent. De plus, elle montre des caractères tantôt légèrement alcalins, tantôt légèrement acides des sols, témoignant une variabilité spatiale du pH. Toutefois, elle indique un caractère non salin des sols avec un CE < 250 μ S/cm dans tous les sites.

Ces caractéristiques physico-chimiques expliquent la faible fertilité des sols de la zone sylvopastorale qui découle d'un environnement dégradant. Cette situation qui réduit drastiquement le potentiel biologique productif des sols est le résultat d'une pression chronique de plusieurs facteurs d'ordre climatique et anthropique. Par conséquent, il devient plus que jamais nécessaire de mettre en œuvre des stratégies de restauration des sols en vue de favoriser la durabilité et l'essor des activités productives.

REFERENCES

- [1] Ba, D. D., 2018. Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la moyenne vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam). Thèse de doctorat, Laboratoire Leidi, Université Gaston Berger. Saint Louis, 201 p.
- [2] Bocoum, M., 2004. Méthodes d'analyse des sols. s.l, INP, Ministère de l'agriculture, Document de travail, 55 p.
- [3] Cesaro, J-D., Magrin, G. et Ninot, O., 2010. Atlas de l'élevage au Sénégal : Commerce et territoires. Paris: Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Prodig CIRAD, 32 p.
- [4] Degalier, R., 1962. Hydrogéologie de Ferlo Septentrional (Sénégal). Mémoire du BRGM. s.l.: Technip, 1962. p. 44. 19.
- [5] Diallo, A., 2011. Caractérisation de la végétation et des sols dans les peuplements d'Acacia Senegal (L.) Willd dans la zone de Dahra-Sud Ferlo sableux. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop. Dakar: s.n., 127 p.
- [6] FAO et CICAD., 2012. Atlas de l'évolution des systèmes pastoraux au Sahel 1970 -2012. 36 p.
- [7] Gouba, B., 2023. Traçage de la courbe granulométrique et la détermination des coefficients de Hazen par la méthode analytique. Revue Internationale de la Recherche Scientifique (Revue-IRS). pp. 21-31.
- [8] Jacquemot, P., 2023. Le pastoralisme en péril en Afrique. Rabat: Policy Center for the New South, 45 p.
- [9] Kébé, M. I., Sagna, M. B., Diallo, M. D., Diallo, A., Diatta, S., Ngom, D., Peiry, J. L., Goffner, D. et Guissé A., 2020. Etude des caractéristiques écologiques d'un peuplement ligneux de la grande muraille verte dans le Ferlo Nord, Sénégal. Revue d'environnement et de la biodiversité-PASRES. Vol. 1, 5, pp. 63-76.
- [10] Ndiaye, O., 2013. Caractérisation des sols, de la flore et de la végétation du Ferlo, Sénégal. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop. Dakar : s.n., 117 p.
- [11] Niang, A. J., 2008. Les processus morphodynamiques, indicateurs de la désertification dans sud-ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multi-source. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Faculté des sciences, Département de géographie, Unité de Géographie physique et Quaternaire, Laboratoire de géomorphologie et télédétection, 277 p.
- [12] Niang, G., 2021. Etude comparative des bassins versants de la basse vallée du Ferlo et du Lac de Guiers : Dynamique actuelle de l'érosion, impacts et stratégies de lutte. Thèse de doctorat, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop. Dakar : s.n., 348 p.
- [13] Niang, G., Sy, A-A., et Faye, G., 2022. Caractérisation sédimentologique des horizons superficiels de sols dans le bas-Ferlo (Louga, Sénégal) dans le contexte de dynamique érosive. Lucrările Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir. décembre, Vol. 50, 2, pp. 1-20.

- [14] Ozer, P., 2000. Les lithométéores en région Sahélienne : indicateur climatique de la désertification. Thèse de doctorat, Faculté des sciences, Université de Liège. Université de Liège, 311 p.
- [15] Sy, B. A., 2015. Erosion éolienne et risques morphogénétiques dans le Sahel sénégalais. Revue des régions arides, Spécial 36, pp. 45-70.
- [16] Thior, M., Sané, T., SY, O., Descroix, L., Ndiaye, L-G., Sambou, A. K., Cissoko, D., Solly, B., 2019. Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la Casamance, Sénégal. Revue Ivoirienne Scientifique et Technologique. pp. 189-213.