

Analyse de la dégradation physico-chimique des sols dans les Niayes de la Commune de Ndiébène Gandiol (Région de Saint-Louis, Sénégal)

Pape Thiaw, PhD in Geography, Geomorphology

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Laboratoire LEIDI

(Dynamique des Territoires et Développement) UGB, Saint-Louis, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n21p100](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p100)

Submitted: 13 November 2025

Accepted: 08 July 2026

Published: 31 July 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Thiaw, P. (2026). *Analyse de la dégradation physico-chimique des sols dans les Niayes de la Commune de Ndiébène Gandiol (Région de Saint-Louis, Sénégal)*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (21), 100. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p100>

Résumé

La zone des Niayes de Ndiébène Gandiol (Sénégal) est un écosystème à fort potentiel pour la sécurité alimentaire, mais fortement menacé. Cet écosystème subit des pressions anthropiques croissantes, qui incluent des pratiques agricoles intensives, une surexploitation des ressources et une pression démographique, exacerbées par des contraintes climatiques comme la sécheresse et l'avancée du désert. Cette étude vise à analyser la dégradation physico-chimique des sols liée aux pressions anthropiques et climatiques. Une méthodologie combinant échantillonnage *in situ* sur la couche arable (0-20 cm) et analyses de laboratoire standard a été employée pour évaluer les paramètres de fertilité. Les résultats révèlent une dégradation multifactorielle sévère, marquée par une baisse critique de la matière organique (teneurs $\leq 0,14$ % sur plusieurs sites, avec une moyenne de 0,67 %) et une alcalinité généralisée (pH majoritairement compris entre 7,1 et 8,2). La salinité mesurée (extrait 1:10) est faible à modérée, avec une conductivité électrique (CE) moyenne de 109 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et des valeurs comprises entre 58 et 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondant à des sols non salins à légèrement salins. On observe également une déplétion des nutriments essentiels, avec des carences extrêmes en phosphore (moyenne de 14,23 ppm, avec un minimum de 1,16 ppm) et des teneurs en azote très faibles (moyenne de 0,05 %). L'étude conclut à une urgence d'intervention par la promotion de pratiques agroécologiques pour

restaurer la santé des sols et assurer la durabilité de ce secteur de production maraîchère.

Mots-clés: Dégradation des sols, Fertilité, Niayes, Alcalinité, Agroécologie

Analysis of the Physicochemical Degradation of Soils in the Niayes of the Municipality of Ndiébène Gandiol (Saint-Louis Region, Senegal)

Pape Thiaw, PhD in Geography, Geomorphology

Cheikh Anta Diop University of Dakar; LEIDI Laboratory
(Territorial Dynamics and Development) UGB, Saint-Louis, Senegal

Abstract

The Niayes region of Ndiébène Gandiol (Senegal) is an ecosystem with high potential for food security, but one that is under serious threat. This ecosystem is facing increasing anthropogenic pressures, including intensive agricultural practices, overexploitation of resources, and population pressure, exacerbated by climatic constraints such as drought and desert encroachment. This study aims to analyze the physicochemical degradation of soils linked to anthropogenic and climatic pressures. A methodology combining in situ sampling of the topsoil (0–20 cm) and standard laboratory analyses was used to assess fertility parameters. The results reveal severe multifactorial degradation, characterized by a critical decline in organic matter (levels $\leq 0.14\%$ at several sites, with an average of 0.67%) and widespread alkalinity (pH predominantly between 7.1 and 8.2). The measured salinity (1:10 extract) is low to moderate, with an average electrical conductivity (EC) of $109 \mu\text{S}/\text{cm}$ and values ranging from 58 to $318 \mu\text{S}/\text{cm}$, corresponding to non-saline to slightly saline soils. There is also a depletion of essential nutrients, with extreme phosphorus deficiencies (average of 14.23 ppm , with a minimum of 1.16 ppm) and very low nitrogen levels (average of 0.05%). The study concludes that urgent action is needed to promote agroecological practices in order to restore soil health and ensure the sustainability of this vegetable-growing sector.

Keywords: Soil degradation, Fertility, Niayes, Alkalinity, Agroecology

Introduction

La zone des Niayes, s'étendant le long du littoral sénégalais de Dakar à Saint-Louis, constitue un écosystème unique caractérisé par des dépressions

interdunaires où l'affleurement de la nappe phréatique permet une agriculture maraîchère intensive. Cet écosystème revêt une importance stratégique pour la sécurité alimentaire du Sénégal, fournissant plus de 60% de la production nationale de légumes et employant directement des milliers de personnes (ANSD, 2020, p. 45). La Commune de Ndiébène Gandiol, située dans la région de Saint-Louis, représente la limite nord de ce système écologique. Elle couvre une superficie d'environ 15 000 hectares où l'agriculture constitue la principale activité économique pour près de 80% de la population active (PDC de Ndiébène Gandiol, 2018, p. 12).

Cependant, cette zone fait face à des défis environnementaux croissants. Les études existantes, notamment celles de Tappan *et al.* (2004) dans la revue « Recherche et gestion des terres arides », ont documenté la dégradation générale des écosystèmes sahéliens, tandis que les travaux de Faye *et al.* (2015) dans la Revue « Géoderme » ont mis en évidence les processus de salinisation dans le delta du fleuve Sénégal. Néanmoins, une lacune persiste concernant l'évaluation intégrée et quantitative de la dégradation spécifique des sols dans le contexte particulier des Niayes septentrionales, où les pressions combinées de l'exploitation agricole intensive, de la variabilité climatique et de l'urbanisation croissante créent une situation particulièrement préoccupante.

La problématique centrale de cette recherche repose sur le constat que la durabilité de ce système de production est menacée par une dégradation accélérée des sols, dont les mécanismes, l'ampleur et les facteurs déterminants restent insuffisamment quantifiés. Cette étude vise donc à répondre à la question scientifique suivante : dans quelle mesure les sols des Niayes de Ndiébène Gandiol ont-ils subi une dégradation physico-chimique ?

L'intérêt général de cette étude est de fournir une base scientifique solide pour l'élaboration de stratégies de gestion durable des sols, contribuant ainsi à la préservation de la sécurité alimentaire et au développement socio-économique de la région.

1. Matériels et méthode

La présente étude repose sur une méthodologie portant sur le prélèvement d'échantillons de sol sur le terrain et sur le traitement et l'analyse de ces échantillons au laboratoire.

Un échantillonnage systématique a été réalisé sur 18 sites représentatifs, avec des prélèvements sur la couche arable (0-20 cm) suivant un protocole standardisé. Les analyses en laboratoire ont porté sur les paramètres physico-chimiques clés : pH, conductivité électrique (CE), carbone organique (C), azote total (N), phosphore assimilable (P), cations échangeables (Ca, Mg, Na, K) et capacité d'échange cationique (CEC).

1.2. L'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage a adopté un plan systématique avec prélèvements sur 18 sites représentatifs des différents modes d'utilisation des terres (parcelles cultivées, jachères, zones dégradées), géoréférencés à l'aide d'un GPS de précision (Garmin). La taille de l'échantillon ($n=18$) a été définie en référence à des études pédologiques régionales similaires, notamment les travaux de Ndiaye et al. (2020) et de Sarr et al. (2018) qui ont utilisé des effectifs comparables ($n=15$ à 25) pour caractériser la variabilité des sols dans les écosystèmes des Niayes. Bien que modeste, cet effectif permet une première caractérisation exploratoire de la dégradation des sols dans cette zone peu documentée, et fournit une base pour des investigations futures plus approfondies.



Photo 1: Crédit photo : THIAW Pape, Parcelle maraichère à Ndiébène Gandiol ; 10/11/2025

Sur chaque site, d'échantillon a été effectué sur la couche arable (0-20 cm). Le prélèvement est effectué dans la zone, suivant un plan transversal, à la proximité du littoral et le secteur continental dans les dunes jaunes et les dunes continentales. Cette couverture d'échantillonnage, avec au total 18 échantillons de sol permet d'identifier les influences possibles du biseau salé. Ces échantillons prélevés le 10 novembre 2025 sur la couche arable, couvrent les principaux modes d'occupation des sols et permettent une évaluation représentative de l'état de dégradation des sols de la commune.

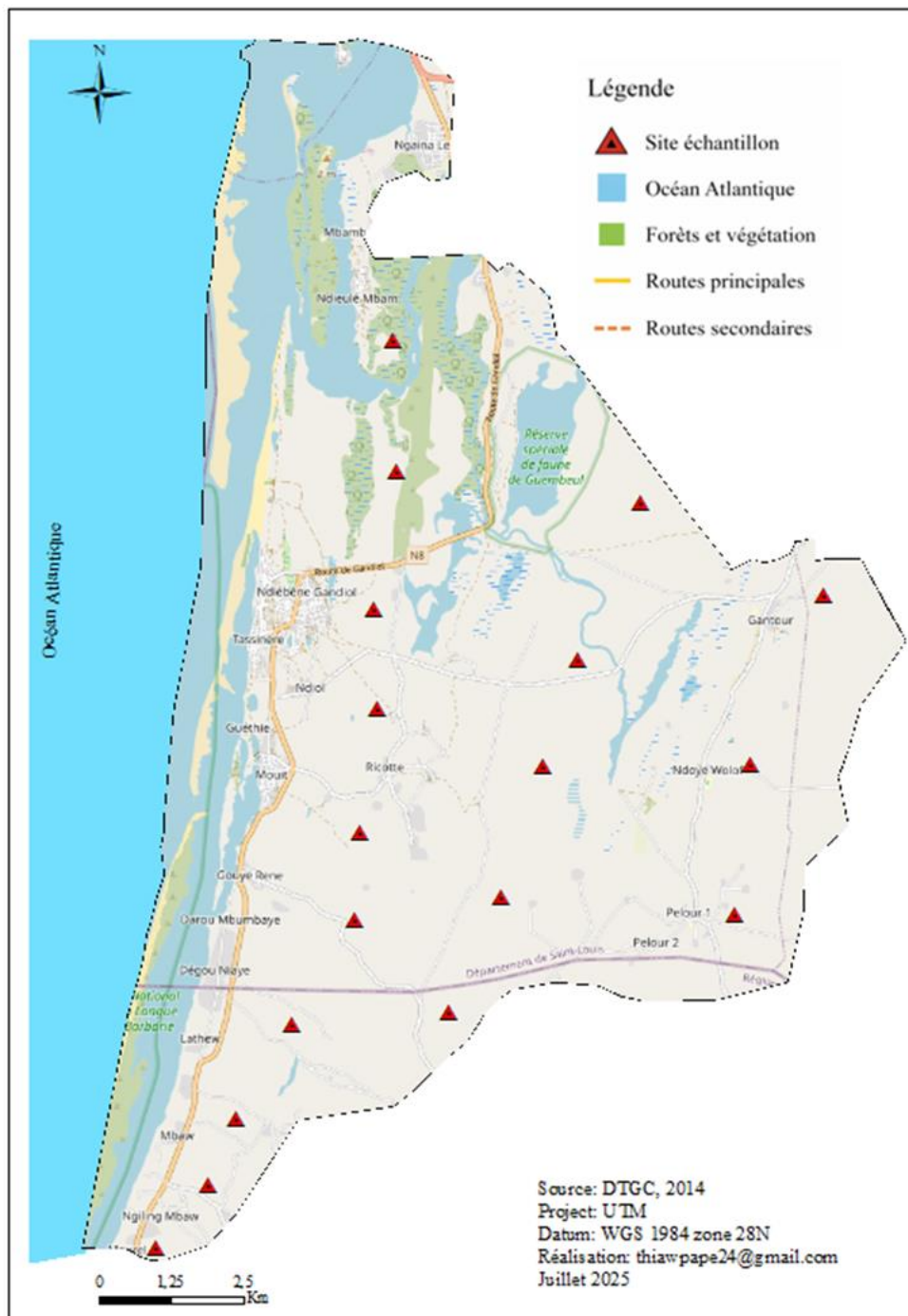


Figure 2: Cartographie des échantillons

1.3. Le traitement et l'analyse des échantillons

Le traitement et les analyses physico-chimiques ont été réalisés au laboratoire de l'Institut National de Pédologie de Dakar, suivant des méthodes conventionnelles.

Avant de procéder au traitement et à l'analyse granulométrique, les échantillons de sol ont été soumis à des opérations de prétraitement comprenant le séchage, le broyage et le tamisage, afin d'assurer leur homogénéisation.

1.4. Le traitement et l'analyse granulométrique

L'étude granulométrique concerne les différentes unités morphologiques. L'objectif est de voir, à partir de la composition granulométrique, si ces sédiments sont différents selon leur site de prélèvement, du point de vue de leur mode de transport. La granulométrie permet ainsi de faire une caractérisation physique du sol en place en fonction de la texture et de déterminer leur incidence sur le maraichage. L'échelle de la taille des grains choisie est celle basée sur les études d'Udden (1914), Wentworth (1922) et de Friedman, Sanders (1978).

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un tamiseur mécanique équipé de tamis normalisés, permettant de séparer les particules selon leur taille et de déterminer avec précision la texture des sols.

Tableau 1: Échelle de référence pour la granulométrie

Taille des grains en mm et μm	Udden (1914) et Wentworth (1922)	Friedman et Sanders (1978)	Traduction
2 à 1 mm	Very coarse sand	Very coarse sand	Sable très grossier
1 à 500 μm	Coarse sand	Coarse sand	Sable grossier
500 à 250 μm	Médium sand	Médium sand	Sable moyen
250 à 150 μm	Fine sand	Fine sand	Sable fin
150 à 63 μm	Very fine sand	Very fine sand	Sable très fin
63 à 2 μm	Silt	Silt	Limon
< 2 μm	Clay	Clay	Argile

1.5. Le traitement et l'analyse des paramètres chimiques des sols

Ces paramètres concernent d'abord le pH dont la méthode d'analyse est réalisée à partir de suspension de sol avec un rapport sol/eau de 1/2,5. De ces suspensions, ils sont déterminés par la méthode électromécanique « électrode de verre ». On pèse 20g de sol que l'on met dans un bêcher de 100 ml ; on ajoute 50 ml d'eau distillée. On agite énergiquement pendant 30 mn à l'aide de l'agitateur magnétique. Après l'étalonnage de l'appareil *pH METER GLP 21*, lire le pH.

Concernant la conductivité électrique (CE), la mesure est réalisée à partir de la suspension utilisée pour la détermination du pH. Un volume supplémentaire de 150 ml d'eau distillée est ensuite ajouté, portant le volume

total à 200 ml, soit un rapport sol/eau de 1/10, avant la mesure de la conductivité électrique. La suspension est agitée pendant 30mn à l'agitateur électrique. Après étalonnage du conductimètre, l'électrode déjà essuyée avec du papier absorbant, est introduite avec précaution dans la suspension et la CE se lit après la stabilisation de l'appareil *CONDUCTIMETER GLP 31* durant une ou deux minutes.

Il est important de noter que la mesure de la CE sur un extrait 1:10 est une méthode d'extraction diluée, qui sous-estime la salinité réelle du sol par rapport à l'extrait de pâte saturée (EPS), référence agronomique standard (USDA Salinity Laboratory, 1954). Un facteur de conversion approximatif, variant selon la texture du sol, peut être appliqué : pour les sols sableux de notre étude, la CE (1:10) est généralement inférieure d'un facteur 5 à 10 à la CE de l'extrait de pâte saturée (CEe). Ainsi, une valeur mesurée de 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,318 dS/m) en extrait 1:10 correspondrait à une CEe estimée entre 1,6 et 3,2 dS/m, ce qui reste dans la classe des sols non salins à modérément salins (CEe < 4 dS/m).

Puis, les teneurs en Carbone (C) et en Azote (N) ont été déterminées par la méthode de combustion sèche à l'aide d'un analyseur élémentaire, tandis que la Matière organique (MO) a été estimée à partir de la teneur en carbone. Le rapport C/N a ensuite été calculé afin d'apprécier l'activité biologique des sols (Ramade, 2008). Le Phosphore assimilable (P) a été dosé selon la méthode de Bray, les bases échangeables [Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Potassium (K) et Sodium (Na)] ont été extraites à l'acétate d'ammonium à pH 7, puis dosées par spectrométrie d'absorption atomique ou par photométrie de flamme. La Capacité d'Échange Cationique (CEC) a été déterminée à partir du même extrait et le Taux de saturation (TS) a été calculé à partir de la somme des bases échangeables rapportée à la CEC. Les résultats obtenus ont été interprétés à l'aide des échelles du CIRAD et du GRET (2002) pour le Carbone (C), la Matière organique (MO) et l'Azote (N), et de Landon (1984) pour le Phosphore assimilable (P), les bases échangeables, la CEC et le Taux de saturation (TS).

Tableau 2: Échelle d'interprétation des teneurs en Carbone (C), Matière organique (MO), Azote (N) et du rapport C/N (adaptée du CIRAD & GRET, 2002)

Paramètre	Très faible	Faible	Moyen	Élevé	Très élevé
Carbone (%)	< 0,6	0,6–1,0	1,0–2,0	2,0–3,0	> 3,0
Matière organique (%)	< 1,0	1,0–1,7	1,7–3,5	3,5–5,2	> 5,2
Azote total (%)	< 0,05	0,05–0,10	0,10–0,20	0,20–0,50	> 0,50
Rapport C/N	< 8 (minéralisation rapide)	8–10	10–12	12–15	> 15 (minéralisation lente)

Source : adapté de CIRAD & GRET (2002) ; Ramade (2008) pour le rapport C/N.

Tableau 3: Échelle d'interprétation des propriétés chimiques des sols (Landon, 1984)

Paramètre	Très faible	Faible	Moyen	Élevé	Très élevé
Phosphore assimilable (mg/kg)	< 5	5–10	10–20	20–40	> 40
Calcium (cmol(+)/kg)	< 2	2–5	5–10	10–20	> 20
Magnésium (cmol(+)/kg)	< 0,3	0,3–1,0	1,0–3,0	3,0–8,0	> 8,0
Potassium (cmol(+)/kg)	< 0,10	0,10–0,30	0,30–0,60	0,60–1,20	> 1,20
Sodium (cmol(+)/kg)	< 0,10	0,10–0,30	0,30–0,70	0,70–2,00	> 2,00
CEC (cmol(+)/kg)	< 5	5–10	10–20	20–40	> 40
Taux de saturation (%)	< 20	20–40	40–60	60–80	> 80

Source : adapté de Landon (1984).

Enfin, les traitements statistiques ont été réalisés sous R version 4.2.1. Les analyses descriptives ont été effectuées à l'aide des fonctions de base de R (*base*, *stats*), tandis que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée avec le package FactoMineR et visualisée à l'aide du package factoextra.

Des modélisations de régressions linéaires entre les variables qui ont des corrélations significatives ont été réalisées et celles ayant la plus grande valeur du coefficient de détermination (r^2) ont été retenues. Ce r^2 exprime la proportion centésimale qu'une ou des variable(s) déterminante(s) explique(nt) celle(s) dépendante(s). Des outils et des logiciels comme Excel et ArcGis nous ont servi également de traitement, d'analyse des données et ainsi qu'une visualisation spatiale des résultats. Compte tenu du nombre d'échantillons ($n=18$) par rapport au nombre de variables analysées, l'ACP revêt un caractère exploratoire, destiné à identifier les principales tendances et structures des données en vue d'orienter des recherches futures. Cette approche méthodologique a permis d'obtenir un certain nombre de résultats.

2. Résultats

Les résultats de l'étude concernent principalement la composition physique (granulométrie, texture) et chimique (acidité, salinité, nutriments) des sols. La granulométrie a été classée en cinq types de sables, des plus gros aux plus fins : sables très grossiers (STG), grossiers (SG), moyens (SM), fins (SF) et très fins (STF).

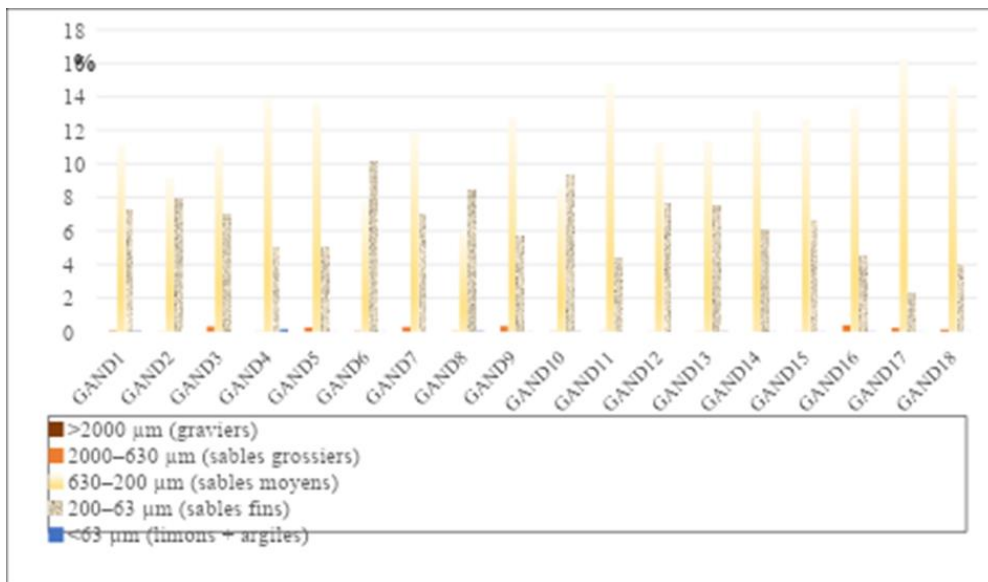


Figure 3: Distribution granulométrique des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol

Les résultats, exprimés en pourcentage, sont répartis en cinq classes de tailles : les graviers ($>2000\ \mu\text{m}$), les sables grossiers ($2000\text{--}630\ \mu\text{m}$), les sables moyens ($630\text{--}200\ \mu\text{m}$), les sables fins ($200\text{--}63\ \mu\text{m}$) et les fines ($<63\ \mu\text{m}$), cette dernière classe regroupant les limons et les argiles.

La caractéristique la plus marquante de l'ensemble des échantillons est la composition extrêmement sableuse des sols. La fraction totale des sables (somme des sables grossiers, moyens et fins) domine massivement, représentant près de 100% de la masse granulométrique de tous les prélèvements. Cette observation indique sans équivoque une texture de type sableuse à sableuse franche pour l'ensemble des sites étudiés, ce qui est un trait pédologique typique des zones côtières et dunaires.

Si la nature sableuse est générale, la répartition entre les différentes sous-classes de sables présente certaines variations :

- **Sables moyens ($630\text{--}200\ \mu\text{m}$)** : il s'agit de la fraction dominante et la plus abondante dans tous les échantillons sans exception. Ses teneurs sont élevées et relativement stables, variant de 5,999% (GAND8) à 16,208% (GAND17). Cette classe constitue le squelette granulométrique principal des sols de Gandiol.
- **Sables fins ($200\text{--}63\ \mu\text{m}$)** : cette fraction est systématiquement la deuxième plus abondante. Elle présente une variabilité inverse notable par rapport aux sables moyens. Les échantillons où les sables moyens sont les plus concentrés (GAND17 à 16,208%) présentent les teneurs en sables fins les plus faibles (2,328% pour GAND17). A l'inverse, lorsque les sables moyens sont moins représentés (GAND8 à

5,999%), les sables fins deviennent plus abondants (8,423% pour GAND8). Cette relation suggère une hétérogénéité spatiale dans la source sédimentaire ou les processus de tri éolien ou hydrique.

- **Sables grossiers (2000-630 μm)** : cette fraction est toujours très faible, représentant moins de 0,4% dans tous les cas. Les valeurs les plus élevées, bien que marginales, sont observées pour GAND16 (0,379%) et GAND9 (0,323%). Sa présence négligeable confirme que le matériau parental est majoritairement constitué de sables bien triés de taille moyenne à fine. Deux autres observations importantes se dégagent : absence de graviers et faiblesse des "fines"

Concernant les graviers (>2000 μm) : la teneur est nulle (0%) pour tous les échantillons. Cela exclut la présence de particules grossières et confirme que le matériau solide est intégralement constitué de particules de taille inférieure à 2 mm.

Et pour les particules fines (Limon + Argiles) (<63 μm) : cette fraction, essentielle pour la rétention de l'eau et des nutriments en raison de sa surface spécifique élevée, est quasi-inexistante. Les teneurs sont inférieures à 0,15% pour tous les échantillons, la majorité étant en dessous de 0,02%. GAND4 présente la valeur la plus élevée (0,141%), qui reste néanmoins tout à fait négligeable d'un point de vue agronomique. Cette absence explique les faibles capacités de rétention en eau et la faible fertilité chimique intrinsèque attendues pour ces types de sols.

L'analyse des échantillons au laboratoire a également fourni des résultats sur les paramètres chimiques des sols. Leur interprétation permet de localiser et d'évaluer la contamination en différents points du terrain, et d'en définir la variabilité spatiale.

Tableau 4 : Variabilité de la teneur des éléments fertilisants, de la CEC, et du Taux de saturation (TS) des sols.

Id	pH 1/ 2,5	CE 1/ 10 µs/Cm	%C	MO %	N %	C/N	Ca meq/100g	Mg meq/100g	Na meq/100g	K meq/100g	P ppm	S meq/100g	CEC meq/100g	T %	PSE %
GAND1	7,3	66	0,33	0,57	0,04	8,17	3,00	0,23	0,22	0,31	5,34	3,75	8,92	42,09	2,47
GAND2	7,5	72	0,90	1,55	0,09	10,17	2,25	6,00	0,04	0,20	2,99	8,48	8,04	105,46	0,44
GAND3	7,3	73	0,49	0,84	0,05	9,16	1,50	4,35	0,10	0,08	2,26	6,03	8,93	67,52	1,06
GAND4	7,5	93	0,35	0,61	0,04	8,44	3,00	0,07	0,02	0,11	46,86	3,21	8,02	40,04	0,28
GAND5	7,1	85	0,08	0,13	0,02	4,29	1,43	0,30	0,04	0,21	2,77	1,98	9,81	20,16	0,43
GAND6	8,2	138	0,44	0,75	0,05	8,89	4,13	1,13	0,12	0,06	17,80	5,43	7,13	76,14	1,68
GAND7	6,6	318	0,27	0,46	0,04	7,67	5,25	0,07	0,50	0,08	13,70	5,91	12,08	48,95	4,16
GAND8	7,5	74	0,41	0,70	0,05	8,84	2,10	0,23	0,05	0,11	4,57	2,48	8,01	30,98	0,56
GAND9	5,9	110	0,86	1,48	0,09	10,05	1,13	0,75	0,10	0,07	18,86	2,05	8,46	24,20	1,21
GAND10	7,1	124	0,02	0,03	0,01	1,47	2,25	0,15	0,14	0,06	12,08	2,59	9,81	26,43	1,40
GAND11	7,8	64	0,37	0,64	0,04	8,56	0,53	0,08	0,04	0,07	10,03	0,71	6,65	10,60	0,53
GAND12	6,8	75	0,72	1,24	0,07	9,72	1,80	0,15	0,05	0,11	12,46	2,11	11,16	18,92	0,45
GAND13	7,2	58	0,33	0,58	0,04	8,23	2,18	0,38	0,05	0,18	9,94	2,78	9,36	29,68	0,51
GAND14	7,2	96	0,43	0,74	0,05	8,97	1,28	0,23	0,03	0,06	1,16	1,59	9,36	16,95	0,32
GAND15	7,1	95	0,24	0,41	0,03	7,47	1,35	0,07	0,04	0,10	11,78	1,56	9,81	15,91	0,38
GAND16	7,4	106	0,45	0,77	0,05	8,90	4,28	0,45	0,05	0,14	45,11	4,91	8,47	57,97	0,56
GAND17	7,3	194	0,37	0,64	0,04	8,54	0,75	0,15	0,26	0,15	44,86	1,31	8,91	14,70	2,86
GAND18	7,4	72	0,14	0,25	0,02	6,01	5,25	0,30	0,10	0,06	5,51	5,71	8,48	67,30	1,18

Légende : C=Carbone, MO=Matière organique, N=Azote, P=Phosphore, Ca=Calcium, Mg=Magnésium, Na=Sodium, K=Potassium, CEC=Capacité d'échange cationique, TS=Taux de saturation, ppm=partie pour mil, meq=milliéquivalent, g=gramme, PSE%=pourcentage de sodium échangeable.

Une régression linéaire (Figure n° 4) a été spécifiquement employée pour quantifier et modéliser la relation prédictive entre la Capacité d'Échange Cationique (CEC) et le pH.

Afin de quantifier la relation suggérée par l'analyse exploratoire, un modèle de régression linéaire simple a été ajusté pour prédire la Capacité d'Échange Cationique (CEC) en fonction du pH mesuré à l'eau.

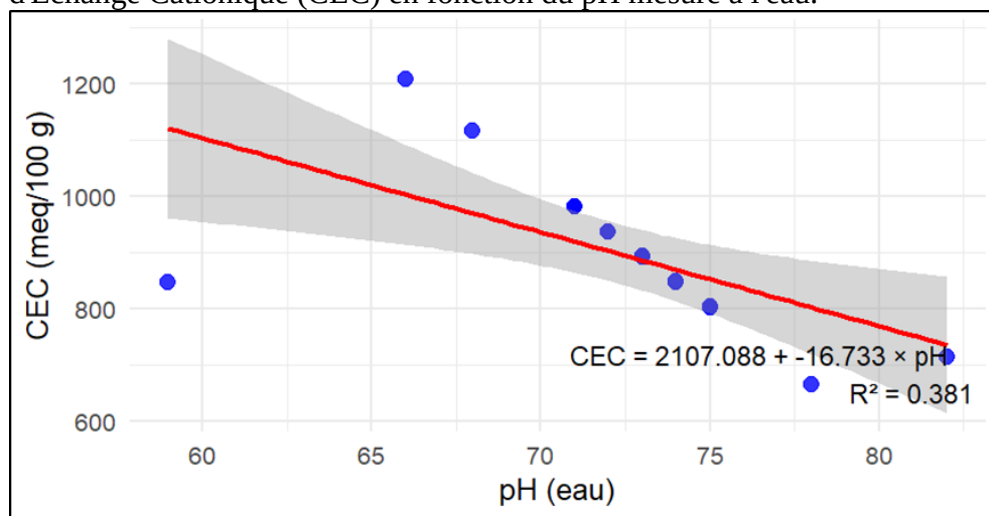


Figure 4 : Régressions linéaires de la CEC en fonction du pH

Le modèle de régression linéaire établi entre le pH et la Capacité d'Échange Cationique (CEC) révèle une relation négative. L'équation de la droite de régression obtenue est :

$$\text{CEC} = 32,99 - 2,93 \times \text{pH}$$

Cette équation indique que, pour cette gamme de pH (5,9 à 8,2), la CEC tend à diminuer lorsque le pH augmente. Par exemple, pour un pH de 6,0, la CEC prédite est d'environ 15,4 cmol(+)/kg, tandis qu'à pH 8,0, elle chute à environ 9,5 cmol(+)/kg. Cette tendance, bien que contre-intuitive au regard du comportement attendu des charges permanentes des argiles, peut s'expliquer par la nature dominante des charges variables dans ces sols très pauvres en argile. En effet, dans des sols où la matière organique est la source principale de charges négatives, une augmentation du pH favorise la déprotonation des groupements fonctionnels (acides carboxyliques et phénoliques), augmentant théoriquement la CEC. Cependant, la relation négative observée pourrait résulter de l'effet combiné d'une minéralisation accrue de la matière organique à pH plus élevé (réduisant le nombre de sites d'échange) et d'une complexation des cations par les ligands organiques solubilisés.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,381$) signifie que 38,1% de la variabilité totale de la CEC observée dans ces échantillons est expliquée par les variations du pH. L'intervalle de confiance à 95% pour la pente est de $[-4,67 ; -1,19]$, indiquant que la relation négative est statistiquement significative ($p = 0,006$). Cependant, la valeur de R^2 , bien que significative, confirme que le pH seul est un prédicteur insuffisant pour estimer précisément la CEC.

La forte dispersion observée suggère que d'autres paramètres, identifiés comme influents dans l'ACP tels que la teneur en matière organique (%MO, %C) et la texture (influençant les charges permanentes), jouent un rôle prépondérant dans la détermination de la CEC de ces sols. Par conséquent, bien qu'une tendance générale à la diminution de la CEC avec l'augmentation du pH soit observable, cette relation ne constitue pas une loi robuste pour ces sols. Une modélisation multivariée intégrant le pH, la matière organique et la teneur en argile serait nécessaire pour développer un modèle prédictif plus fiable et complet de la capacité d'échange cationique dans ce contexte pédologique.

L'identification des relations structurelles entre les paramètres chimiques par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est réalisée (Figure n° 5) sur les propriétés chimiques des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol. L'ACP permet de visualiser la structure des données et de révéler les relations entre les variables. Elle met également en évidence les

principaux facteurs qui influencent la variabilité pédologique de cette Commune. Compte tenu du nombre limité d'échantillons ($n=18$) par rapport au nombre de variables (11 variables actives), cette ACP revêt un caractère exploratoire ; les tendances observées doivent être interprétées avec prudence et considérées comme des hypothèses à valider sur un échantillonnage plus étendu.

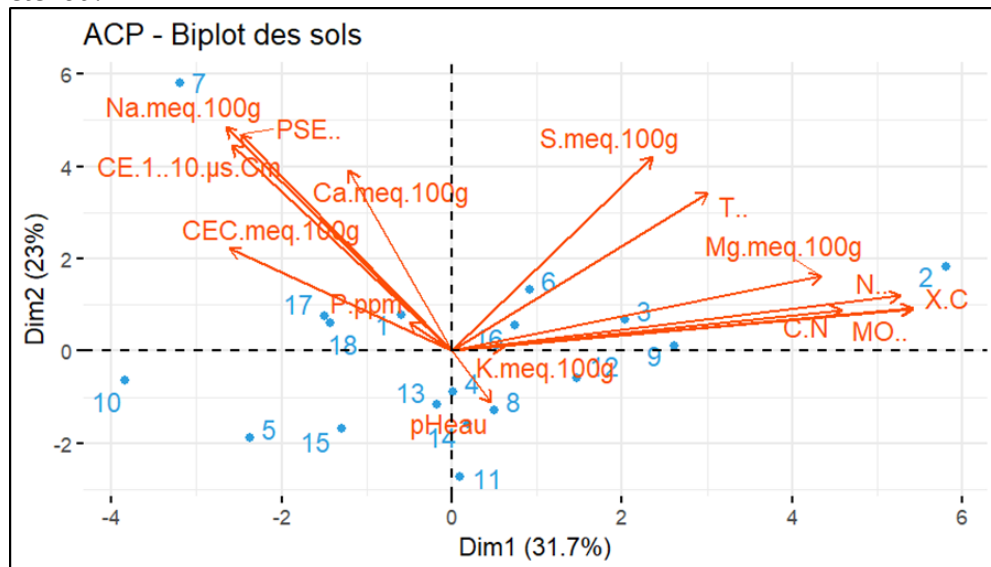


Figure 5 : L'ACP des variables caractéristiques des sols de Ndiébène Gandiol

L'analyse de l'ACP révèle une structuration des sols de Ndiébène Gandiol selon deux principaux gradients de variabilité expliquant conjointement 54.7% de la variance totale (Dim1 : 31.7%, Dim2 : 23%). Le premier axe (Dim1) oppose les sols en fonction de leur salinité et de leur fertilité chimique. D'un côté, les échantillons à forte conductivité électrique (GAND7) et teneur en sodium (Na.meq.100g) se projettent négativement sur cet axe. Ces sols, souvent associés à un pH plus bas, présentent un risque de salinisation. A l'opposé, on trouve des sols caractérisés par une forte teneur en calcium (Ca.meq.100g) et un pourcentage de sodium échangeable (PSE%) plus élevé, indiquant une bonne fertilité basique.

Le second axe (Dim2) distingue les sols selon leur richesse en matière organique et leur capacité d'échange cationique. Les échantillons avec les teneurs les plus élevées en carbone organique (%C), matière organique (MO%) et un ratio C/N plus large (GAND2, GAND9) se positionnent dans la partie positive de cet axe. Ils sont corrélés à une forte Capacité d'Échange Cationique (CEC.meq.100g), important pour la rétention des nutriments. A l'inverse, la partie négative de Dim2 est associée aux teneurs en magnésium (Mg.meq.100g) et en potassium (K.meq.100g). La répartition des échantillons, comme GAND17 et GAND18 qui s'éloignent du centre, confirme

l'hétérogénéité des propriétés des sols étudiés, partagés entre des parcelles salines, d'autres fertiles et riches en bases, et certaines présentant une bonne réserve organique.

Cette structure des données se traduit spatialement, comme en témoigne la figure n° 6 de la variabilité du pH.

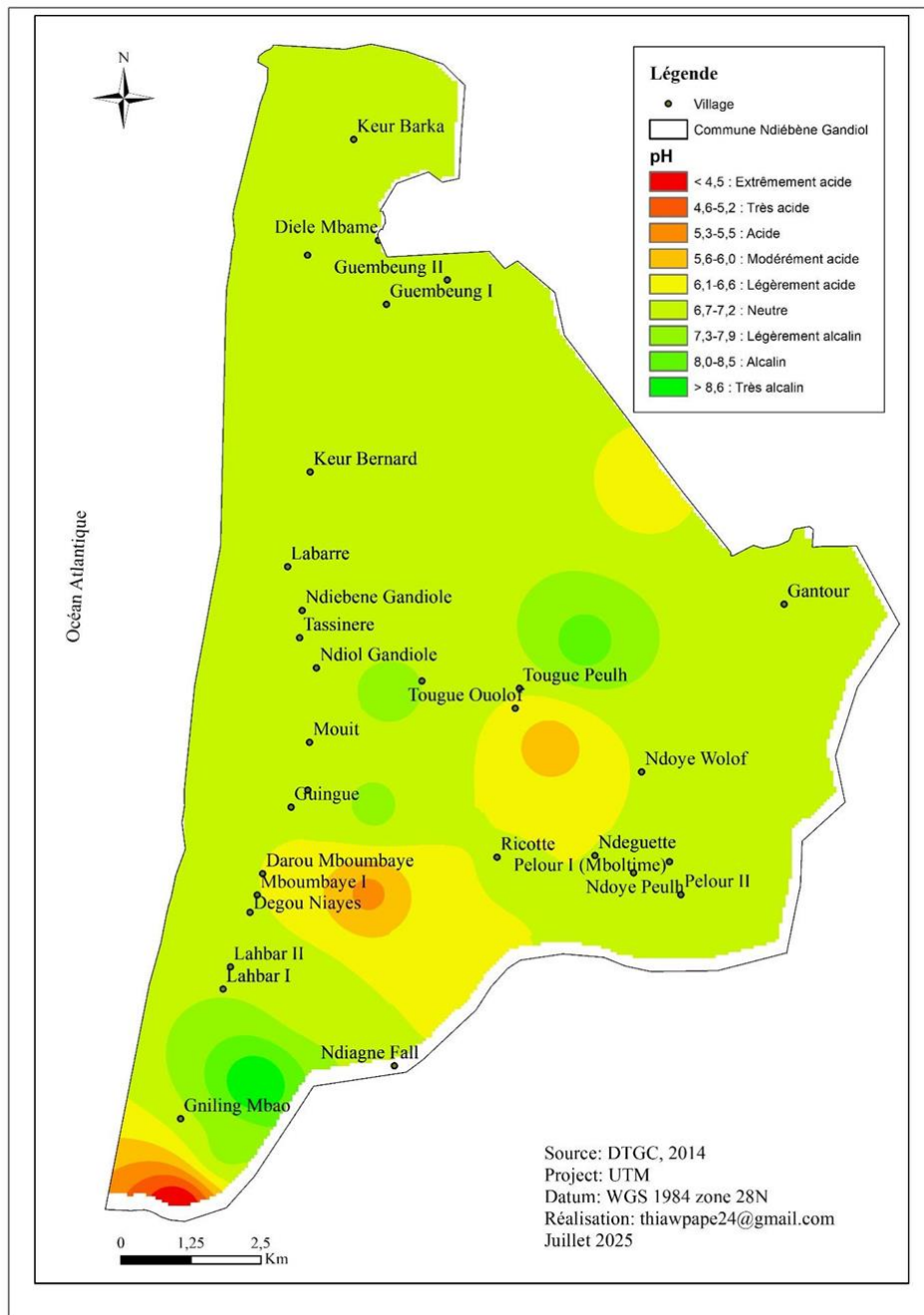


Figure 6 : variabilité spatiale du pH des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol

La variabilité spatiale du pH des sols de la commune de Ndiébène Gandiol révèle une distribution hétérogène, avec des valeurs comprises entre 5,9 et 8,2. La figure 6 montre une nette prédominance des classes neutres à alcalines sur la majeure partie de cette Commune, même si quelques poches plus acides subsistent localement (comme GAND9 à 5,9). Cette alcalinité généralisée, caractéristique des sols sableux côtiers riches en carbonates, influence directement la biodisponibilité des éléments nutritifs en favorisant la précipitation du phosphore et la carence en oligo-éléments comme le fer et le zinc.

Ce pH élevé a un impact direct sur la pratique du maraîchage. Il restreint le choix des espèces cultivables, favorisant les plantes tolérantes à l'alcalinité et excluant certaines cultures sensibles comme la tomate ou le haricot. Il impose également des corrections par des amendements acidifiants (soufre, sulfate d'ammonium) pour ramener le pH à des valeurs optimales (6,0-6,5), ce qui augmente les coûts de production et la charge de travail pour les maraîchers. Sans cette intervention, la disponibilité des nutriments reste sous-optimale, limitant l'efficacité des engrais appliqués et compromettant la rentabilité économique des exploitations.

Si le pH constitue un facteur contraignant majeur pour la fertilité des sols, l'analyse de la conductivité électrique (CE) renseigne sur leur teneur en sels solubles (figure n°7). Elle vient compléter ce diagnostic en révélant un autre paramètre critique pour la viabilité du maraîchage.

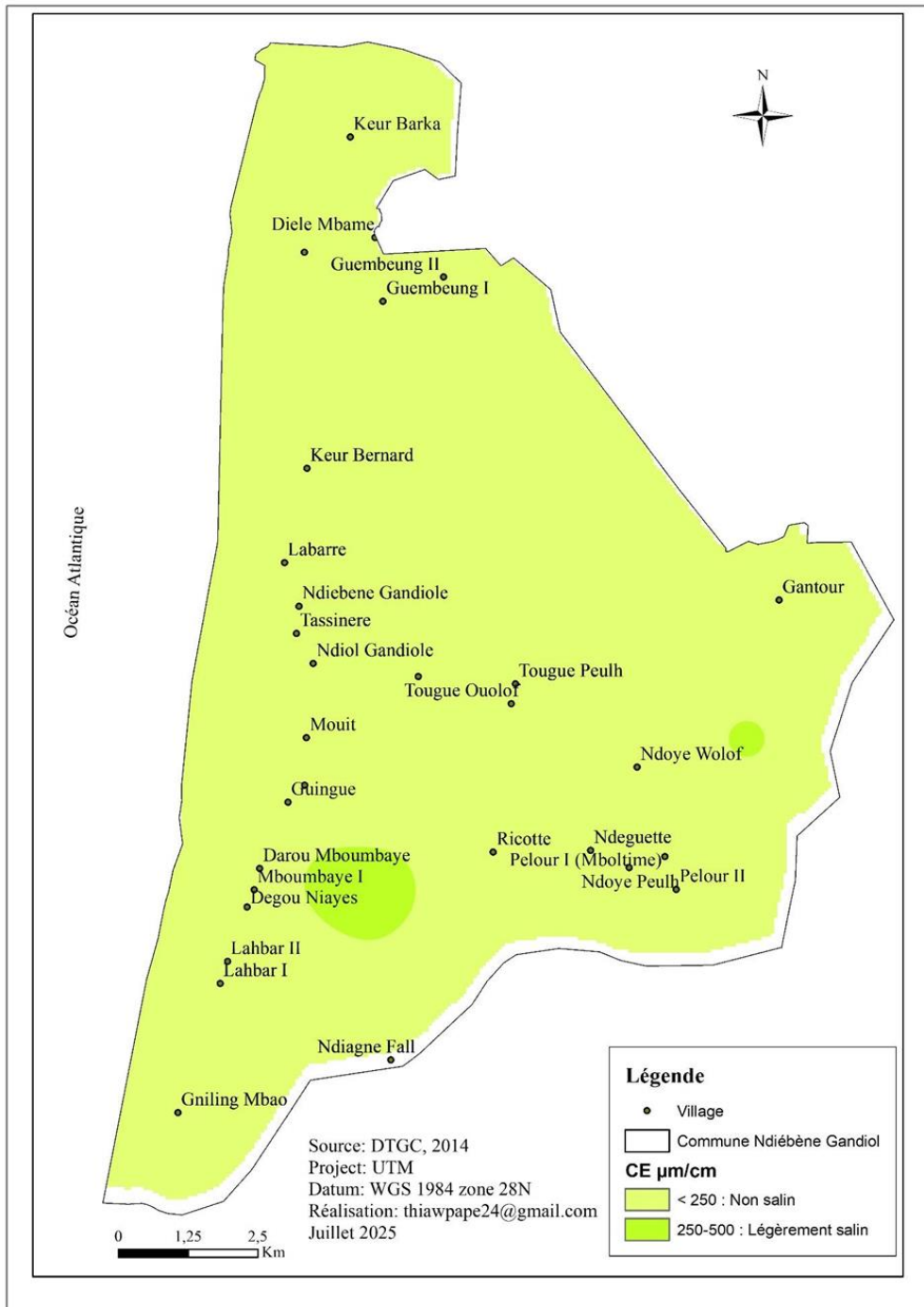


Figure 7 : variabilité spatiale de la CE des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol

La conductivité électrique (CE) des sols indique une salinité globalement faible à modérée sur l'ensemble de ce secteur. La majorité des

zones affiche des valeurs inférieures à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, classant ainsi les sols dans la catégorie non salins ($\text{CE} < 250 \mu\text{S}/\text{cm}$). Seuls quelques sites, comme GAND7 avec 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se situent dans les classes légèrement salines ($\text{CE} 250\text{-}500 \mu\text{S}/\text{cm}$).

L'absence de points chauds de salinité élevée est un indicateur positif, signifiant que les risques de toxicité ionique spécifique pour les plantes ou de dégradation de la structure du sol par excès de sodium sont faibles. Cette condition est favorable à une plus grande diversité de cultures et réduit la nécessité de pratiques de correction telles que le lessivage des sels, simplifiant ainsi la gestion agronomique pour une majorité de maraîchers de la zone.

3. Discussion

Les résultats de cette étude mettent en évidence une alcalinité généralisée des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol, avec des pH majoritairement compris entre 7,1 et 8,2, et un seul site présentant un pH acide (GAND9 à 5,9). La salinité actuelle, quant à elle, est faible à modérée (CE généralement $< 250 \mu\text{S}/\text{cm}$ en extrait 1:10). Ces observations s'inscrivent dans un contexte régional plus large de dégradation des terres caractéristique de la zone des Niayes, bien qu'elles en nuancent certains aspects. La comparaison avec d'autres travaux scientifiques permet de contextualiser ces observations, d'en éprouver la fiabilité et de mieux cerner les dynamiques spécifiques à ce terroir gandiola.

En ce qui concerne le pH des sols, nos résultats divergent des conclusions d'études antérieures sur la zone des Niayes qui évoquent une acidité généralisée. Sarr et al. (2018), dans leur article « Vulnérabilité et dégradation des sols dans la zone des Niayes au Sénégal » (disponible sur ResearchGate), attribuent l'acidification à plusieurs facteurs : la nature sableuse des sols ($> 85\%$ de sable), leur pauvreté en matières organiques et en capacité tampon, la lixiviation des bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) sous l'effet d'une pluviométrie concentrée, et l'utilisation d'engrais acidifiants comme le sulfate d'ammonium par les maraîchers (Sarr et al., 2018, p. 45). Toutefois, nos mesures ne confirment pas cette tendance acide dans le secteur de Ndiébène Gandiol, où les sols sont majoritairement neutres à alcalins. Cette différence pourrait s'expliquer par des conditions pédologiques et hydrogéologiques locales spécifiques, notamment la présence de carbonates dans les sables dunaires côtiers, qui confèrent un pouvoir tampon élevé et limitent l'acidification. La prédominance des pH alcalins observée dans notre zone d'étude pourrait également résulter d'une moindre intensité des pratiques agricoles acidifiantes ou d'une recharge de la nappe phréatique moins propice à la lixiviation des bases, contrairement aux constats de Ndiaye et al. (2020, pp. 112-123) dans les Niayes de Thiès.

L'analyse détaillée des paramètres de fertilité révèle des carences nutritionnelles sévères, particulièrement critiques pour la production maraîchère. Les teneurs en azote total sont très faibles, avec une moyenne de 0,05% et 77% des échantillons (14/18) présentant des valeurs inférieures à 0,1%, seuil considéré comme très faible selon le CIRAD & GRET (2002). Cette carence azotée généralisée reflète la faible minéralisation de la matière organique dans ces sols sableux et l'absence d'apports organiques suffisants. Le phosphore assimilable montre une variabilité extrême, allant de 1,16 ppm (GAND14) à 46,86 ppm (GAND4). La moyenne de 14,23 ppm cache une situation très hétérogène : 50% des échantillons présentent des teneurs inférieures à 10 ppm, seuil de carence critique selon Landon (1984). Cette carence en phosphore est particulièrement préoccupante car elle limite directement la croissance des cultures et la formation des fruits. Elle résulte à la fois de la faible teneur du sol en phosphore total et de sa forte rétention sous forme peu disponible dans ces sols alcalins où le phosphore précipite avec le calcium. Le potassium, bien que moins déficitaire, reste à des niveaux très faibles à moyens (moyenne de 0,13 meq/100g), avec 89% des échantillons classés dans les catégories très faible à faible (Landon, 1984). Cette pauvreté potassique s'explique par la nature sableuse des sols et l'exportation intensive par les cultures maraîchères sans restitution adéquate. La somme des bases échangeables, avec une moyenne de 3,24 meq/100g, confirme une fertilité chimique globalement faible, bien que la présence de calcium sur certains sites (jusqu'à 5,25 meq/100g) apporte une certaine compensation.

Les ratios C/N observés sont particulièrement préoccupants : les valeurs extrêmement basses sur plusieurs sites (GAND5 avec 4,29, GAND10 avec 1,47) indiquent une minéralisation excessive de la matière organique. Ce phénomène est typique des sols sableux tropicaux où les conditions aérobies et les températures élevées accélèrent la décomposition de la matière organique. Cette minéralisation rapide, couplée à l'absence de restitution, explique l'appauvrissement généralisé des sols en carbone organique (moyenne de 0,38%, avec 72% des échantillons en dessous du seuil très faible de 0,6%). À l'inverse, les rares sites présentant des ratios C/N plus élevés (GAND2 avec 10,17, GAND9 avec 10,05) coïncident avec des teneurs en carbone organique plus importantes, suggérant des pratiques de gestion ou des conditions locales plus favorables à l'accumulation de matière organique. D'un point de vue agroécologique, ces ratios C/N anormalement bas indiquent une dégradation avancée du stock organique des sols, compromettant leur résilience et leur capacité à supporter une production agricole durable. La restauration de ces sols passe impérativement par un retour massif de matière organique (composts, fumures organiques) pour reconstituer le pool organique et améliorer les propriétés physiques et chimiques de ces sols sableux.

Cependant, la situation concernant la salinité présente un tableau plus nuancé. Si notre étude révèle une salinité globale faible à modérée (CE en extrait 1:10 majoritairement $< 250 \mu\text{S/cm}$), d'autres recherches pointent des risques salins plus élevés dans certaines portions des Niayes, notamment celles plus proches du littoral. Faye et *al.* (2019) ont cartographié une remontée saline importante liée à l'intrusion de la langue salée de l'aquifère superficiel dans la zone de Kayar, plus au sud, dans leur monographie « Salinisation des sols et des eaux dans le bassin arachidier sénégalais : enjeux et perspectives » (Éditions Universitaires Européennes, p. 78). La situation moins critique observée à Ndiébène Gandiol pourrait s'expliquer par sa position géographique et la dynamique hydrologique locale. Les travaux de Badiane et *al.* (2022) dans « Hydrogéochimie et qualité des eaux d'irrigation dans la zone des Niayes de Saint-Louis » (Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, 39, pp. 210-230) suggèrent que la salinité est très hétérogène et étroitement liée à la profondeur de la nappe et à la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation. Notre étude, en cohérence avec ces conclusions, indique que le péril salin, bien que présent, n'est pas encore le facteur limitant principal à Gandiol, contrairement à l'alcalinité et aux carences nutritionnelles. Cette différence souligne l'importance d'études localisées pour adapter les recommandations agronomiques.

La conjugaison de ces facteurs de dégradation (alcalinité généralisée, carences nutritionnelles sévères, faible salinité résiduelle) dessine une trajectoire de vulnérabilité spécifique pour les sols de Ndiébène Gandiol. Cette dégradation physico-chimique en triple facette a été décrite par Mbourou et *al.* (2021) comme un cercle vicieux : l'alcalinité réduit la disponibilité des nutriments, la carence en matière organique dégrade la structure du sol et limite la rétention en eau, tandis que les pratiques agricoles intensives exportent les éléments nutritifs sans restitution suffisante (« Dynamique de la dégradation des terres et stratégies d'adaptation dans les écosystèmes fragiles du Sénégal », Cybergeographie : Revue européenne de géographie, Environnement, Nature, Paysage, document 987). Ce scénario est cohérent avec nos observations et appelle à une gestion intégrée qui combine des amendements organiques massifs, une fertilisation équilibrée incluant du phosphore et du potassium, et des pratiques de gestion de l'eau (irrigation goutte-à-goutte, drainage) pour prévenir tout engorgement et remontée saline future.

Ainsi, la confrontation de nos résultats avec la littérature existante confirme et affine le diagnostic de dégradation des sols à Ndiébène Gandiol. Elle valide le constat d'une alcalinité prédominante et de carences nutritionnelles sévères, tout en relativisant l'ampleur actuelle du risque salin par rapport à d'autres secteurs plus affectés. Cette comparaison souligne que la dégradation n'est pas un processus uniforme mais présente des visages différents selon les sous-régions, influencés par la pédologie, l'hydrogéologie

et les pressions anthropiques locales. Des stratégies de remédiation et d'adaptation différenciées et contextuelles sont nécessaires pour un écosystème durable.

Conclusion

Cette étude a démontré que les sols de la commune de Ndiébène Gandiol subissent une dégradation physico-chimique marquée. Elle est caractérisée par une texture majoritairement sableuse (plus de 85% de sable), une alcalinité prononcée (pH majoritairement compris entre 7,1 et 8,2) constituant la contrainte majeure, et une salinité actuelle faible à modérée (CE en extrait 1:10 généralement $< 250 \mu\text{S/cm}$, correspondant à des sols non salins à légèrement salins) représentant un risque latent. La prédominance de la fraction sableuse, confirmée par les analyses granulométriques, apparaît comme un facteur aggravant puisqu'elle explique la faible capacité de rétention en eau et en nutriments, la faible capacité tampon accentuant la sensibilité à l'alcalinisation, et la perméabilité élevée facilitant la lixiviation des nutriments. Les carences nutritionnelles sont sévères et généralisées : teneurs en azote très faibles (moyenne de 0,05%, 77% des échantillons $< 0,1\%$), phosphore extrêmement déficitaire sur la moitié des sites ($P < 10 \text{ ppm}$), et potassium à des niveaux très faibles (moyenne de 0,13 meq/100g). L'enseignement principal est que la dégradation des sols de la Commune de Ndiébène Gandiol est intrinsèquement liée à leur texture sableuse déséquilibrée, qui limite la rétention en eau et en nutriments, et à l'alcalinité généralisée (pH 7,1-8,2) qui constitue la contrainte chimique majeure, réduisant la biodisponibilité du phosphore et des oligo-éléments. Ces résultats impliquent que les stratégies de remédiation doivent prioriser la correction de l'alcalinité par des amendements acidifiants (soufre, sulfate d'ammonium) et surtout l'augmentation drastique de la matière organique par des apports massifs de compost ou de fumier pour améliorer la rétention cationique. Elles recommandent également une fertilisation équilibrée et raisonnée, intégrant des apports de phosphore et de potassium, tout en associant une gestion durable de l'eau pour prévenir toute aggravation future de la salinité, afin de préserver la productivité maraîchère de ce terroir vulnérable.

Conflit d'intérêts : L'auteur n'a signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : L'auteur n'a obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). (2020). Rapport sur les comptes économiques de la région de Saint-Louis.
2. AUMN, 2014. Projet de production durable et compétitive du chou dans la zone des Niayes. Rapport du quatrième semestre, 39 p.
3. Badiane, A. Y., Faye, S., & Diaw, M. (2022). Hydrogéochimie et qualité des eaux d'irrigation dans la zone des Niayes de Saint-Louis. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 39, 210-230.
4. Beaudet G., 1992. « Dynamique et dégradation des milieux physiques de l'Ouest africain », In *Annales de Géographie*, t. 101, n°564, pp : 214-219.
5. Bocoum. M, (2004). Méthodes d'analyses des sols. Document de travail. Institut National de Pédologie, Dakar-Sénégal, 55 p.
6. CIRAD et GRET, 2002. Mémento de l'agronome, Ministère des Affaires Etrangères, France, 1700 p.
7. CSE (2015). Rapport sur l'État de l'Environnement (REE) du Sénégal. Edition 2015. Centre de Suivi Ecologique (CSE).
8. Dia. S, 2000. Les Niayes nord (Sénégal) : évolution d'une région littorale en crise. Thèse de 3ème cycle, Université de Rouen, 453 p.
9. Dasylya. S, 2009. Rapport de mission sur les Niayes du littoral nord Sénégalais. Projet SAHELP, mission LSCE et SISYPHE ; Paris, 25 p.
10. Emmanuel Geoffriau, 2014, la conception de systèmes horticoles écologiquement innovants, guide d'usage, UVED, 24 p.
11. Faye, A., et al. (2015). Soil salinization in the Senegal River Delta. *Geoderma Regional*, 5(1), 1-10.
12. Faye, S., Malou, R., & Faye, A. (2019). Salinisation des sols et des eaux dans le bassin arachidier sénégalais : enjeux et perspectives. Éditions Universitaires Européennes.
13. Gueye, F., & Diagne, M. (2022). « Conséquences de la dégradation des sols sur la sécurité alimentaire dans les Niayes du Sénégal ». *Journal Africain de Sécurité Alimentaire*.
14. INP, 1992.- Méthodes d'analyses des sols : manuel pratique, 29 p.
15. Landon, J.R., 1984.- *Booker Tropical Soil Manual*. xiv. Booker Agriculture International Ltd., London, and Longman, Burnt Mill, U.K, 450 p.
16. Mbourou, C. N., Sall, M., & Diouf, B. (2021). Dynamique de la dégradation des terres et stratégies d'adaptation dans les écosystèmes fragiles du Sénégal. *Cybergeog : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 987.
17. Niang S, SY A.A., SY B.A., 2016. « Evolution spatiale et hydrochimique de la salinité de l'eau d'irrigation dans le gandiola,

- littoral nord du Sénégal », revue de géographie du laboratoire Leïdi, pp : 241-257.
18. Ndiaye, M., Diatta, S., & Guisse, A. (2020). Impacts des pratiques agricoles sur l'évolution des sols dans les Niayes de Thiès. *Agronomie Africaine*, 32(2), 112-123.
 19. Plan de Développement Communal (PDC) de Ndiébène Gandiol. (2018). Diagnostic territorial participatif.
 20. Ramade F., 2008.- Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité Ed. Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-053670 2, 737 p.
 21. Sy A. A., 2009. Les dunes littorales de la Grande Côte sénégalaise. Dynamique actuelle et ses conséquences sur les espaces maraîchers, Mémoire de Master 2, UGB, 193 p.
 22. Sarr, B., Camara, M., & Diame, A. (2018). Vulnérabilité et dégradation des sols dans la zone des Niayes au Sénégal. In : Actes du Colloque International sur la Durabilité des Systèmes Agricoles, Dakar. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/>
 23. Tappan, G. G., et al. (2004). Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59(3), 427-462.
 24. USDA Salinity Laboratory Staff. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook No. 60*, U.S. Department of Agriculture.