



Analyse de la dégradation physico-chimique des sols dans les *Niayes* de la Commune de Darou Khoudoss (Région de Thiès, Sénégal)

Pape Thiaw¹, Seydou Alassane SOW², Cheikh Ahmed Tidiane Faye³, Amadou Abou SY⁴, Boubou Aldiouma SY⁵

1. Doctorant, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Ecole Doctorale Eau Qualité et Usage de l'Eau (EDEQUE), Laboratoire LEIDI (Dynamique des Territoires et Développement)
2. Enseignant chercheur, Géomorphologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal
3. Enseignant chercheur, Géomorphologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal
4. Enseignant chercheur, Géomorphologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal
5. Géographe (géomorphologie), Université Gaston Berger de Saint-Louis/Sénégal

Résumé : Les *Niayes* ou dépressions interdunaires de la Commune de Darou Khoudoss, situées dans la Région de Thiès au Sénégal, sont des zones agricoles importantes pour la production de fruits et légumes. Ces terres sont essentielles pour l'économie locale et la sécurité alimentaire de la population. Cependant, ces sols sont confrontés à des pressions croissantes de dégradation dues à l'urbanisation, à l'exploitation intensive, à la déforestation et aux pratiques agricoles non durables.

Cet article a pour objectif est d'analyser la dégradation physico-chimique des sols dans la région des *Niayes*, en mettant l'accent sur la Commune de Darou Khoudoss.

À travers une méthodologie rigoureuse, l'étude des échantillons prélevés évalue l'état actuel des sols et identifie les facteurs qui contribuent à leur dégradation. Les résultats fournissent des informations cruciales pour la gestion durable des ressources agricoles de cette Commune.

Mots clés : Dégradation, physique, chimique, *Niayes*

Abstract

The Niayes or interdune depressions of the Municipality of Darou Khoudoss, located in the Thiès Region in Senegal, are important agricultural areas for the production of fruits and vegetables. These lands are essential for the local economy and the food security of the population. However, these soils face increasing pressures of degradation due to urbanization, intensive exploitation, deforestation and unsustainable agricultural practices. The objective of this article is to analyze the physicochemical degradation of soils in the Niayes region, with emphasis on the Municipality of Darou Khoudoss.

Through a rigorous methodology, the study of the samples taken took into account the current state of the soil and identifies the factors which contribute to their degradation. The results provide crucial information for the sustainable management of agricultural resources in this Municipality.

Keywords : Degradation, physical, chemical, *Niayes*

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.11660826>

1. Introduction

Les Niayes sont des unités morpho-pédologiques qui sont spécifiques à la grande côte sénégalaise. Cette dernière est caractérisée par une succession de génération de dunes : après les dunes blanches littorales, se juxtaposent les dunes jaunes semi-fixées et les dunes ogoliennes entre lesquelles siègent ces bas-fonds communément appelés Niayes. Cette région écogéographique, réputée pour son importance agricole, fait face à des défis croissants liés à la dégradation des sols. Selon Ba et *al.*, (2017), les Niayes, caractérisées par une forte pression démographique et des pratiques agricoles intensives, font face à des problèmes tels que l'érosion, la salinisation, la perte de fertilité et la dégradation de la structure du sol. D'après l'INP (2008), les superficies affectées par le sel pour l'ensemble de la zone des Niayes est de 7165 ha. Au niveau du littoral, la salinisation des sols pourrait être liée à l'irrigation avec les eaux salées des nappes souterraines et par les apports des embruns marins (Diakhaté, 1986). Par ailleurs, l'utilisation de ces pesticides dans l'agriculture en général et dans le maraichage en particulier est l'un des premiers facteurs de risque sanitaire non seulement pour les êtres vivants mais aussi pour leur environnement (Enda Pronat, 2015).

En outre, les processus d'érosion sont également autant menaçants que la dégradation chimique. Sur le supratidal (Niayes), la dynamique d'ensablement des cuvettes agricoles se poursuit. En sus de l'agriculture est aussi sous l'emprise de la salinisation, la migration des quartzs, dégrade le potentiel de fertilité des sols et affecte les rendements agricoles (Sy. A. A., 2013).

Cette dégradation est exacerbée par des facteurs tels que le changement climatique, la surexploitation des ressources naturelles et l'urbanisation croissante. Cette question concerne non seulement les préoccupations liées à la production et la qualité des produits mais également la protection de l'environnement (Diallo M.D. et al., 2015 ; Dieng, M., 2020 ; Gueye, F., et al., 2022).

Ce processus de dégradation prend de l'ampleur alors qu'une grande partie de la production maraîchère du pays provient des Niayes, soit environ 60% de la production maraîchère nationale (SONED, 2013) in Fall M., Niang S. & Sy B.A. (2022).

Dans cette zone des Niayes, se trouve la Commune de Darou Khoudoss (fig.1) qui, en particulier, est confrontée à des pressions anthropiques et environnementales qui menacent la productivité des terres agricoles de ses Niayes. Il en résulte la diminution de la matière organique du sol, l'érosion, la salinisation et l'appauvrissement en éléments nutritifs essentiels. Beaucoup de parcelles ont des sols acides à modérément acides avec un pH compris entre 5,3 à 6,0 comme le témoignent ces mesures : pH=5,65 ; pH=5,80 et certaines parcelles ont des sols extrêmement acide avec un pH < 4,5 (pH=3,40). D'autres parcelles sont également affectées par un processus de salinisation où on retrouve des traces de sel. Ces parcelles ont ainsi une conductivité électrique (CE) comprise entre 500 et 1000 $\mu\text{m}/\text{cm}$: CE=535,00 $\mu\text{m}/\text{cm}$; CE=533,20 $\mu\text{m}/\text{cm}$. Beaucoup de parcelles sont aussi légèrement salins (CE comprise en entre 250 et 500 $\mu\text{m}/\text{cm}$) : CE=292,00 $\mu\text{m}/\text{cm}$; CE=293,00 $\mu\text{m}/\text{cm}$; CE=289,33 $\mu\text{m}/\text{cm}$...En plus, une dynamique éolienne est notée d'autre part, entraînant de l'ensablement des cuvettes agricoles. Cette morphodynamique sédimentaire est liée à la structure du sol qui est caractérisée par une prédominance du sable moyen (SM).

Cette situation pose un réel problème de fertilité des Niayes de cette Commune. Ce qui compromet la capacité agricole ainsi que la sécurité alimentaire de la région, car elle limite la productivité des cultures et la disponibilité des terres arables, exacerbant ainsi les pressions sur les moyens de subsistance locaux (DHORT, 2023). Des défis significatifs se posent ainsi pour les communautés locales qui dépendent majoritairement de l'agriculture.

Comprendre les mécanismes et les impacts de cette dégradation est crucial pour élaborer des stratégies de gestion durable des terres et assurer ainsi la sécurité alimentaire dans la Commune. Cet article vise en effet à contribuer à cette compréhension en examinant de manière approfondie les processus physico-chimiques impliqués dans la dégradation des sols des Niayes

de Darou Khoudoss, ainsi que leurs conséquences sur l'agriculture locale et les moyens de subsistance des populations.

L'article revêt un intérêt crucial en mettant en lumière les causes et les conséquences de la dégradation des sols des Niayes de la Commune de Darou Khoudoss, offrant ainsi des perceptions essentielles pour la sécurité alimentaire, la durabilité environnementale et le développement socio-économique local. En fournissant une analyse approfondie des processus physico-chimiques impliqués dans cette dégradation, il contribue alors à orienter les politiques et les pratiques agricoles vers des solutions plus durables et résilientes.

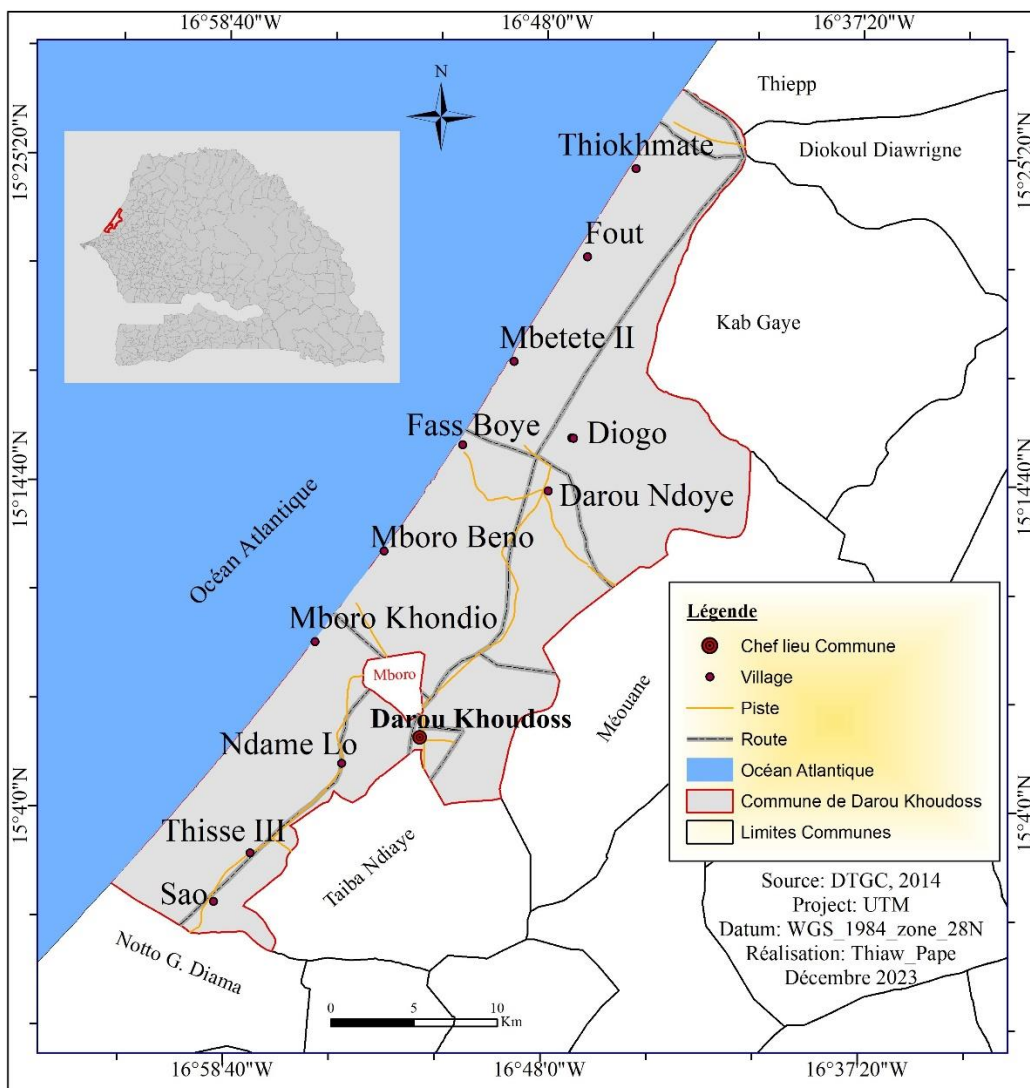


Figure 1. Localisation de la Commune de Darou Khoudoss

2. Méthodologie

L'étude a été menée à travers une approche méthodologique complète, impliquant une collecte exhaustive de données sur le terrain. Des échantillons de sol ont été prélevés à différentes profondeurs, allant de 0 à 30 cm, pour évaluer les propriétés physico-chimiques telles que la texture, Le pH sol, la CE, le phosphore (P), le potassium (K), le magnésium (Mg), calcium (Ca), Sodium (Na) et la capacité d'échange cationique (CEC), le pourcentage de matière organique (% MO). Des techniques avancées d'analyse des sols ont été utilisées au laboratoire de l'Institut Nationale de Pédologie (INP) de Dakar pour obtenir des données précises.

La méthodologie s'articule ainsi autour de trois étapes dont : en premier lieu, le prélèvement des échantillons représentatifs dans les parcelles, puis l'analyse des échantillons au laboratoire afin de pouvoir caractériser les paramètres physico-chimiques des sols et enfin l'utilisation des résultats pour établir les doses optimales d'engrais dans le cadre des stratégies de correction.

L'échantillonnage couvre les trois générations de dunes. Suivant la topo-séquences à partir du littoral, les prélèvements sur les dunes blanches littorales, sur les dunes jaunes semi-fixées, dans les cuvettes interdunaires et sur les dunes rouges continentales. Un total de 40 échantillons est prélevé et cartographié (fig.2) permettant ainsi d'identifier l'influence potentielle du biseau salé.

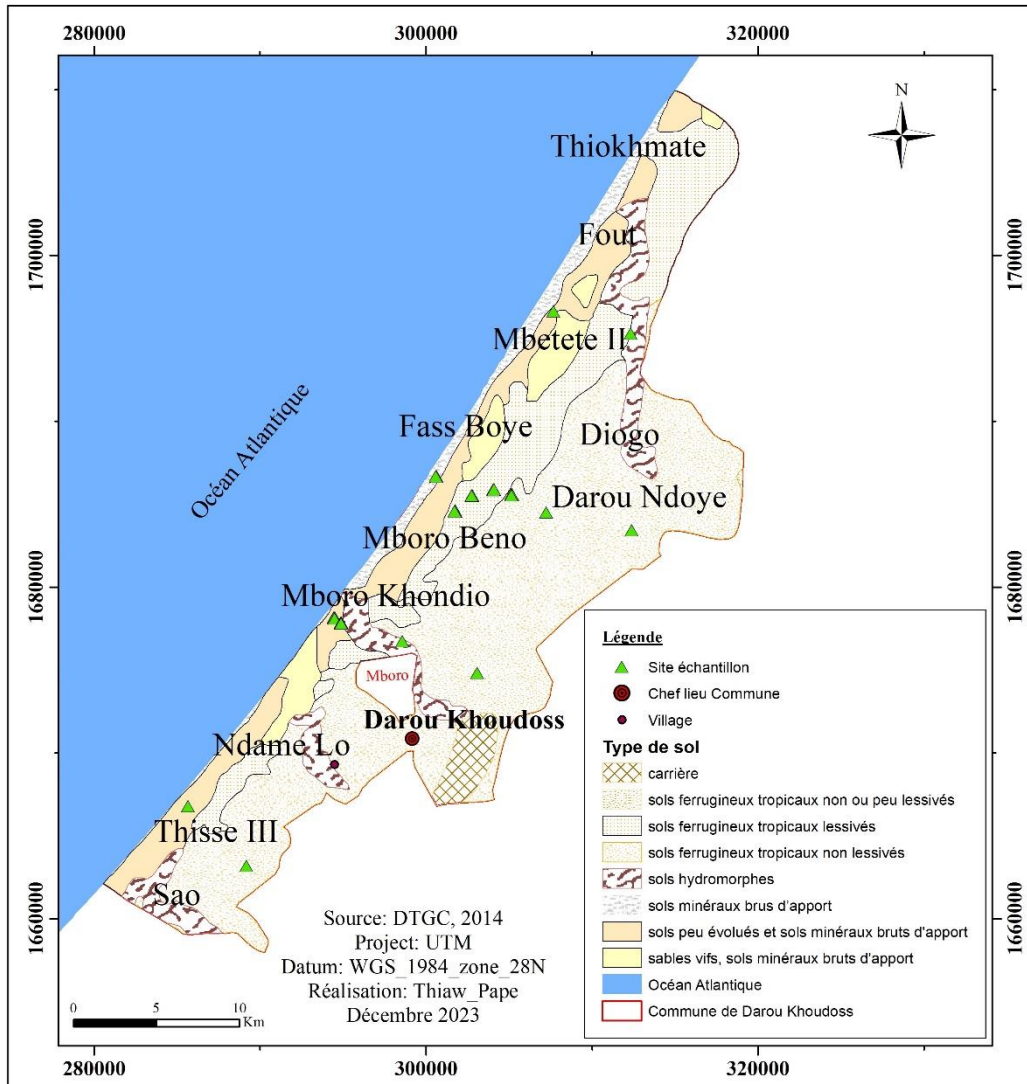


Figure 2. Cartographie des échantillons

2.1. L'étude de la dégradation physique des sols : Elle est basée sur l'étude granulométrique des 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 permettra ainsi de faire une caractérisation 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).

Tableau 1: Echelle 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

Les méthodes d'analyse ainsi que les formules de calcul utilisées ont été établies par Bocoum (2004) et nous servent ainsi de référence pour la caractérisation des paramètres physico-chimiques. Des outils et des logiciels comme RapideMiner Studio, Excel et ArcGis nous ont servi de traitement, d'analyse des données et ainsi qu'une visualisation spatiale des résultats.

2.2. Méthode d'analyse du pH : la réalisation est faite 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 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.

2.3. Méthode d'analyse de la conductivité électrique (CE) : 20 g de sol tamisés avec un tamis de 2 mm, sont pesés dans un Becher de 100 ml selon le rapport de l'extrait 1/10. 150 ml d'eau distillée sont ajoutés à la solution de pH. 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.

Tableau 2: Référence d'analyse du pH et de la CE (Bocoum, 2004)

pH		CE	
Gammes pH	Sol	CE $\mu\text{m/cm}$	Sol
< 4,5	Extrêmement acide	< 250	Non salin
4,6-5,2	Très acide	250-500	Légèrement salin
5,3-5,5	Acide	500-1000	Salin
5,6-6,0	Modérément acide	1000-2000	Très salin
6,1-6,6	Légèrement acide	>2000	Extrêmement salin
6,7-7,2	Neutre		
7,3-7,9	Légèrement alcalin		
8,0-8,5	Alcalin		
> 8,6	Très alcalin		

2.4. Le dosage du Ca+Mg : ce dosage se fait en prenant 20 ml de l'extrait aqueux mesurés dans un erlenmeyer de 250 ml. Ensuite, 5 ml de solution tampon et quelques gouttes (2 à 3 gouttes) de noir ériochrome T sont ajoutés dans l'extrait. Puis, la solution est titrée par le complexon 0,02N jusqu'au virage au bleu de la solution initialement rouge de vin. Nous avons noté, le nombre de ml de complexon versé est noté.

2.5. Le dosage du Ca⁺⁺ : nous prenons 20 ml de l'extrait aqueux que nous mesurons dans un erlenmeyer de 250 ml. Puis, 5 ml de soude et 2 à 3 gouttes d'indicateur sont ajoutés dans l'extrait. La solution est titrée par le complexon jusqu'au virage de la couleur fluorescence disparaît brutalement. Nous avons noté le nombre de ml de complexon versé.

2.6. L'analyse du Na⁺ et K⁺ : l'analyse du Na⁺ et K⁺ est faite par absorption atomique. Ils sont dosés au spectrophotomètre de flamme par comparaison avec les courbes d'étalonnage préalablement tracées.

2.7. Le dosage du CO₃ : 20 ml de l'extrait aqueux sont mesurés dans un erlenmeyer de 250 ml. 2 à 3 gouttes de phénolphtaleine y sont ajoutées. Si l'extrait reste incolore, il n'y a pas de carbonates dans l'échantillon. Mais si la coloration vire au rose, il y a présence de carbonate. La solution est titrée par

l'acide sulfurique (H_2SO_4) jusqu'à ce que la coloration disparaisse et nous avons relevé le volume de l'acide sulfurique versé.

2.8. Le dosage du HCO_3 : 20 ml de l'extrait aqueux sont mesurés dans un erlenmeyer de 250 ml. 5 à 6 gouttes de bromocrésol vert y sont ajoutées. Ensuite, la solution est titrée par l'acide sulfurique jusqu'au virage au jaune. Le volume de l'acide sulfurique versé est ainsi noté.

2.9. Le dosage du Cl : 10 ml de l'extrait aqueux sont mesurés dans un erlenmeyer de 250 ml. 5 gouttes de bichromate de potassium y sont ajoutées. Ainsi, l'extrait est titré par la solution de nitrate d'argent, en agitant continuellement jusqu'à ce qu'une couleur rouge brique apparaisse et nous notons le volume de nitrate d'argent utilisé.

2.10. Le dosage du SO_4 : 25 ml de l'extrait sont mis dans un erlenmeyer de 100 ml. 10 ml de la solution $NaCl.NCl$, 2 ml de gomme d'acacia et 1 g de poudre de chlorure de baryum sont ajoutés dans l'extrait. Après agitation de la solution à la main, le volume est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'à avoir 100 ml. Un témoin est préparé selon le même mode opératoire, expliqué précédemment, sans les 25 ml de l'extrait. En prenant le témoin comme référence, nous avons ajusté à 0,00 l'absorbance du spectrophotomètre réglé à 600 nm. Après, l'absorbance au spectrophotomètre à 600 nm est mesurée pour chaque échantillon (Bocoum, 2004).

2.11. Le dosage du carbone organique : on pèse 1g de sol (100 Mesh) dans une fiole conique de 250 ml et y ajouter 10 ml de dichromate de potassium 1 N ; on joute 20 ml d'acide sulfurique concentré agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes ; ajouter 100 ml d'eau distillée, 10 ml d'acide orthophosphorique concentré et 2 ml de la solution indicatrice de diphénylamine et lors de l'apparition de la coloration violette ou bleue, doser lentement avec le sel de mhore jusqu'à la coloration finale verte. Le sel de mohre est contenu dans un récipient muni d'un tube gradué sur lequel la lecture est faite, à chaque virage de la solution (coloration verte). Une solution témoin (blanc) est faite à coté et sert de référence à la lecture des autres échantillons.

Tableau 3: Références d'interprétation du Carbone total et/ou de la MO (Bocoum, (2004))

Teneur en Carbone (%)	Estimations
[0,17 - 0,43[Très pauvre
[0,43 - 0,76[Pauvre
[0,76 - 1,35[Moyen
[1,35 - 2,55[Riche
[2,55 - 5,10[Très riche
[5,10 - 10,10[Excellent

Cette approche méthodologique a permis d'obtenir un certain nombre de résultats.

3. Résultats

Les principaux résultats concernent les paramètres physiques des sols (granulométrie et texture des sols) et les paramètres chimiques (propriétés acido-basiques et salinité des sols) ainsi que les teneurs en éléments fertilisants.

Concernant la granulométrie, les résultats sont classés en cinq catégories, en fonction des sites de prélèvement selon : les sables très grossiers (STG) ; les sables grossiers (SG) ; les sables moyens (SM) ; les sables fins (SF) et les sables très fins (STF).

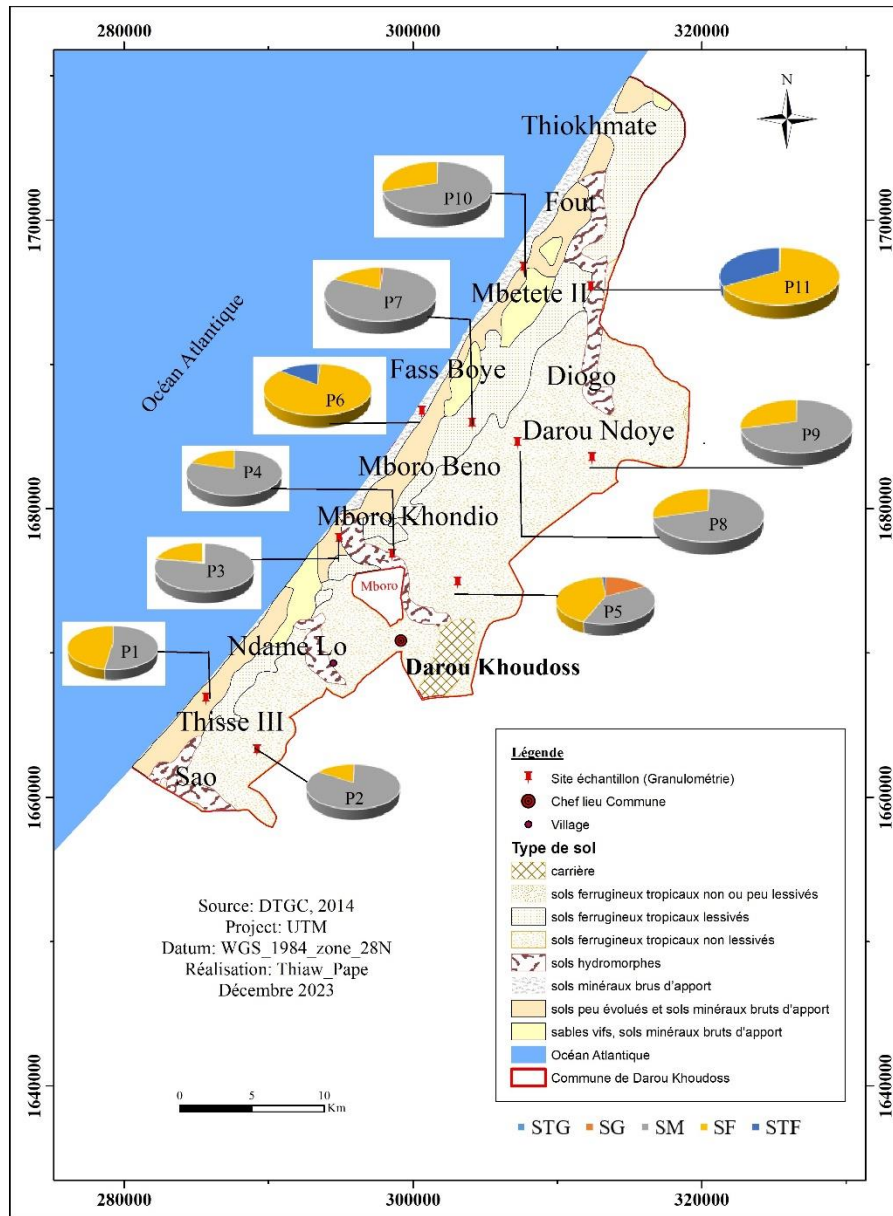


Figure 3 : Distribution granulométrique des sols de la Commune de Darou Khoudoss

La répartition spatiale de chaque texture déterminée permet ainsi de lire du littoral au continent, les différentes trames sédimentaires.

Les tendances générales de cette granulométrie (Fig.4) montrent une prédominance du sable moyen, suivi du sable fin. Le sable grossier est présent dans une moindre mesure, tandis que le sable très fin et très grossier est présent en quantités négligeables voire absentes. Cela suggère une texture globalement sableuse à la granulométrie du sol, avec une dominance des particules de taille moyenne à fine.

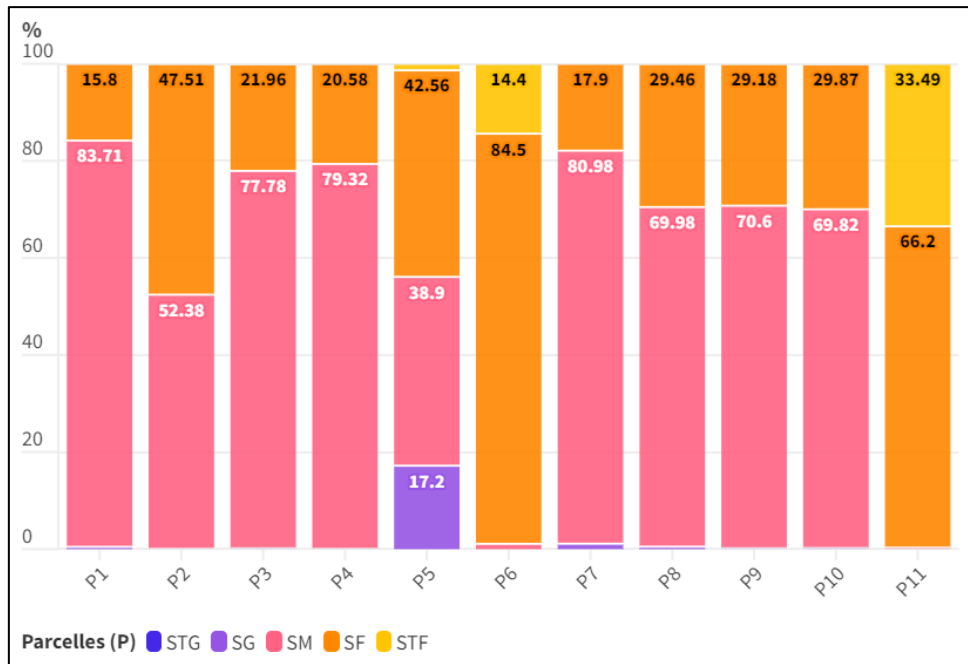


Figure 4 : Résultats de la granulométrie des différentes parcelles analysées

- Pour la texture Sable Très Grossier (STG) :

Toutes les parcelles ont une valeur de 0 pour cette fraction, indiquant une absence totale de sable très grossier dans l'échantillon.

- Pour le Sable Grossier (SG) :

Les valeurs varient principalement entre 0,01% et 1,41%, avec une moyenne d'environ 0,14%. Les parcelles P5 et P7 ont les valeurs les plus élevées pour cette fraction, tandis que les autres parcelles ont des valeurs relativement faibles.

- Pour le Sable Moyen (SM) :

Les valeurs varient de 0,21% à 15,93%, avec une moyenne d'environ 11,18%.

Les parcelles P1, P3, P4, P7, P8, P9 et P10 ont des valeurs significatives pour cette fraction, indiquant une présence notable de sable moyen dans l'échantillon.

- Pour le Sable Fin (SF) :

Les valeurs varient de 3,18% à 16,25%, avec une moyenne d'environ 9,72%.

Les parcelles P2, P6, P8, P9, P10 et P11 ont des valeurs significatives pour cette fraction, montrant une présence notable de sable fin.

- Pour le Sable Très Fin (STF) :

Les valeurs varient principalement entre 0,002% et 6,48%, avec une moyenne d'environ 3,24%. Les parcelles P6, P10 et P11 ont des valeurs relativement élevées pour cette fraction, tandis que les autres parcelles ont des valeurs très faibles.

Le traitement et l'analyse des échantillons au laboratoire nous a permis également d'avoir des résultats sur les paramètres chimiques des sols dont l'interprétation donne une idée précise sur la contamination à différents endroits sur le terrain et de définir la variabilité de la contamination dans l'espace.

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

Sites	ID	HORIZONS	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 %
P 1	DKHOUD1	S1 0-30	5,8	107	0,250	0,432	0,034	7,454	6,38	0,75	0,04	0,08	2,77	7,25	6,69	108,46	0,64
	DKHOUD2	S2 0-30	5,7	284	0,403	0,696	0,046	8,733	3,23	0,23	0,03	0,10	3,59	3,58	7,12	50,27	0,42
	DKHOUD3	S3 0-30	4,3	106	0,371	0,640	0,043	8,558	1,73	2,78	0,03	0,04	84,08	4,57	13,42	34,02	0,19
	DKHOUD4	S4 0-30	4,8	124	0,716	1,234	0,073	9,830	1,88	1,20	0,11	0,41	5,76	3,59	11,17	32,11	0,94
	DKHOUD5	S5 0-30	5,2	134	0,780	1,345	0,078	9,949	0,38	0,08	0,05	0,17	7,30	0,67	9,35	7,14	0,53
P 2	DKHOUD6	S1 0-30	7,6	92	0,716	1,234	0,073	9,830	2,70	0,15	0,03	0,13	2,01	3,01	5,31	56,56	0,56
	DKHOUD7	S2 0-30	7,3	119	0,410	0,706	0,046	8,864	1,35	2,10	0,06	0,06	90,70	3,56	6,67	53,41	0,82
	DKHOUD8	S3 0-30	7,4	84	0,433	0,747	0,049	8,844	3,60	0,15	0,02	0,11	10,71	3,88	6,22	62,42	0,32
	DKHOUD9	S4 0-30	7,1	81	0,293	0,504	0,036	8,036	1,88	0,68	0,05	0,06	11,01	2,66	7,56	35,15	0,69
	DKHOUD10	S5 0-30	7,3	90	0,780	1,345	0,078	9,949	0,83	0,23	0,06	0,04	88,18	1,15	6,66	17,35	0,94
P 3	DKHOUD11	S1 0-30	6,6	293	0,410	0,706	0,046	8,864	1,13	3,98	0,11	0,95	53,52	6,16	5,33	115,51	1,97
	DKHOUD12	S2 0-30	5,4	80	0,390	0,672	0,045	8,705	3,38	0,38	0,02	0,32	154,50	4,09	10,72	38,17	0,19
	DKHOUD13	S3 0-30	6,5	124	1,287	2,219	0,122	10,567	0,83	0,30	0,08	0,31	14,68	1,51	5,76	26,28	1,39
	DKHOUD14	S4 0-30	5,9	164	0,429	0,740	0,048	9,013	0,98	0,38	0,06	0,11	15,19	1,52	8,46	17,94	0,61
	DKHOUD15	S5 0-30	6,1	117	0,527	0,908	0,057	9,172	1,58	0,38	0,04	0,06	2,09	2,04	7,56	27,03	0,50
P 4	DKHOUD16	S1 0-30	6,4	154	0,358	0,617	0,042	8,519	4,50	1,05	0,08	0,04	1,84	5,67	6,23	91,11	1,32
	DKHOUD17	S2 0-30	7,7	304	0,337	0,581	0,041	8,296	0,83	0,30	0,06	0,13	42,42	1,31	4,86	26,94	1,18
	DKHOUD18	S3 0-30	7,2	280	0,301	0,520	0,038	7,973	3,38	0,98	0,05	0,03	20,32	4,43	7,12	62,17	0,70
	DKHOUD19	S4 0-30	7,5	113	0,425	0,733	0,048	8,938	2,63	0,15	0,04	0,10	14,90	2,91	5,76	50,49	0,65
	DKHOUD20	S5 0-30	7,3	301	0,527	0,908	0,057	9,172	3,15	0,23	0,02	0,10	44,64	3,50	6,67	52,43	0,34
P 5	DKHOUD21	S1 0-30	7,4	288	0,446	0,768	0,050	8,844	3,15	0,30	0,06	0,11	6,62	3,62	6,22	58,29	1,01
	DKHOUD22	S2 0-30	7,7	255	1,229	2,118	0,118	10,446	0,98	0,38	0,05	0,13	3,24	1,53	4,86	31,47	1,08
	DKHOUD23	S3 0-30	6	261	0,125	0,216	0,022	5,591	0,90	0,45	0,06	0,07	0,47	1,48	8,01	18,45	0,72
	DKHOUD24	S4 0-30	6,3	241	0,293	0,504	0,036	8,036	0,98	1,28	0,03	0,10	11,40	2,37	6,66	35,62	0,38
	DKHOUD25	S5 0-30	6,7	261	0,948	1,635	0,094	10,108	1,73	0,23	0,03	0,08	7,73	2,06	4,86	42,47	0,62
P 6	DKHOUD26	S1 0-30	3,4	1060	1,578	2,720	0,147	10,733	3,83	0,68	0,50	0,56	7,21	5,56	12,98	42,85	3,85
	DKHOUD27	S2 0-30	4,6	791	0,836	1,441	0,084	9,949	3,83	0,83	0,53	0,66	9,18	5,84	7,58	77,02	6,96
	DKHOUD28	S3 0-30	4,1	952	1,755	3,026	0,162	10,807	3,23	1,88	0,50	0,24	20,79	5,84	9,83	59,44	5,11
	DKHOUD29	S4 0-30	4,1	56	0,566	0,975	0,060	9,394	2,18	0,23	0,05	0,21	35,34	2,66	9,81	27,06	0,46
	DKHOUD30	S5 0-30	3,6	1146	0,351	0,605	0,042	8,357	4,13	0,90	0,61	1,25	28,13	6,88	12,08	56,98	5,07
P 7	DKHOUD31	S1 0-30	4,5	219	0,544	0,938	0,059	9,255	1,13	2,93	0,07	0,15	73,92	4,27	8,02	53,22	0,81
	DKHOUD32	S2 0-30	5,3	159	0,707	1,220	0,073	9,718	1,80	18,08	0,13	0,13	34,06	20,13	4,50	447,36	2,89
	DKHOUD33	S3 0-30	5	173	1,687	2,908	0,157	10,759	2,40	0,23	0,07	0,28	54,42	2,98	5,76	51,65	1,26
	DKHOUD34	S4 0-30	5,3	851	0,894	1,542	0,088	10,142	2,25	0,38	0,02	0,06	1,24	2,70	4,41	61,09	0,34
	DKHOUD35	S5 0-30	4,5	162	0,605	1,042	0,063	9,595	0,83	1,05	0,02	0,13	45,11	2,02	8,01	25,23	0,25
P 8	DKHOUD36	S1 0-30	6,9	64	0,780	1,345	0,078	9,949	1,80	0,38	0,02	0,13	6,19	2,32	8,46	27,43	0,24
	DKHOUD37	S2 0-30	7,4	108	1,365	2,353	0,129	10,598	1,58	0,15	0,03	0,07	3,24	1,83	6,21	29,39	0,48
	DKHOUD38	S3 0-30	6	86	0,258	0,444	0,034	7,670	0,45	0,15	0,03	0,06	6,10	0,68	8,00	8,54	0,34
	DKHOUD39	S4 0-30	6,8	102	0,588	1,013	0,062	9,540	0,60	0,23	0,02	0,13	6,62	0,97	4,40	21,93	0,34
	DKHOUD40	S5 0-30	7,1	88	0,926	1,596	0,091	10,176	0,45	0,15	0,06	0,08	7,85	0,74	7,55	9,85	0,79

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.

- En ce qui concerne le pH du sol, les résultats de l'analyse et l'interprétation des échantillons (25/40) montrent que la plupart de ces derniers sont acides, avec quelques échantillons neutres (DKHOUD9, DKHOUD18, DKHOUD25, DKHOUD36, DKHOUD40) et légèrement alcalins. Les échantillons qui présentent une acidité extrêmement (pH < 4,5) sont au nombre de 5 : DKHOUD3 (pH 4,3), DKHOUD26 (pH 3,4), DKHOUD28 (pH 4,1), DKHOUD29 (pH 4,1), DKHOUD30 (pH 3,6).

Les échantillons qui sont très acides (pH entre 4,6 et 5,2) sont au nombre de 6 : DKHOUD4 (pH 4,8), DKHOUD27, DKHOUD31, DKHOUD33, DKHOUD27, DKHOUD34 (pH 4,6)
4 échantillons sont acides (pH entre 5,3 et 5,5) : DKHOUD 12 (pH 5,4), DKHOUD25, DKHOUD32 (pH 5,3), DKHOUD34 (pH 5,3).

5 échantillons sont modérément acides (pH entre 5,6 et 6,0) : DKHOUD1, DKHOUD2, DKHOUD14, DKHOUD23 (pH 6), DKHOUD38 (pH 6).

Les échantillons qui sont légèrement acides (pH entre 6,1 et 6,6) sont au nombre de 5 : DKHOUD11, DKHOUD13, DKHOUD15, DKHOUD16, DKHOUD24.

L'utilisation d'outils SIG a permis de cartographier (fig.3) les résultats de l'analyse des sols dans les *Niayes* de la Commune de Darou Khoudoss, fournissant ainsi une perspective spatiale de leur dégradation physico-chimique.

A l'exception de quelques surfaces qui présentent des poches de sol neutre (pH compris entre 6,7 et 7,2), tout le périmètre est caractérisé par des sols allant de la gamme légèrement acides à extrêmement acides.

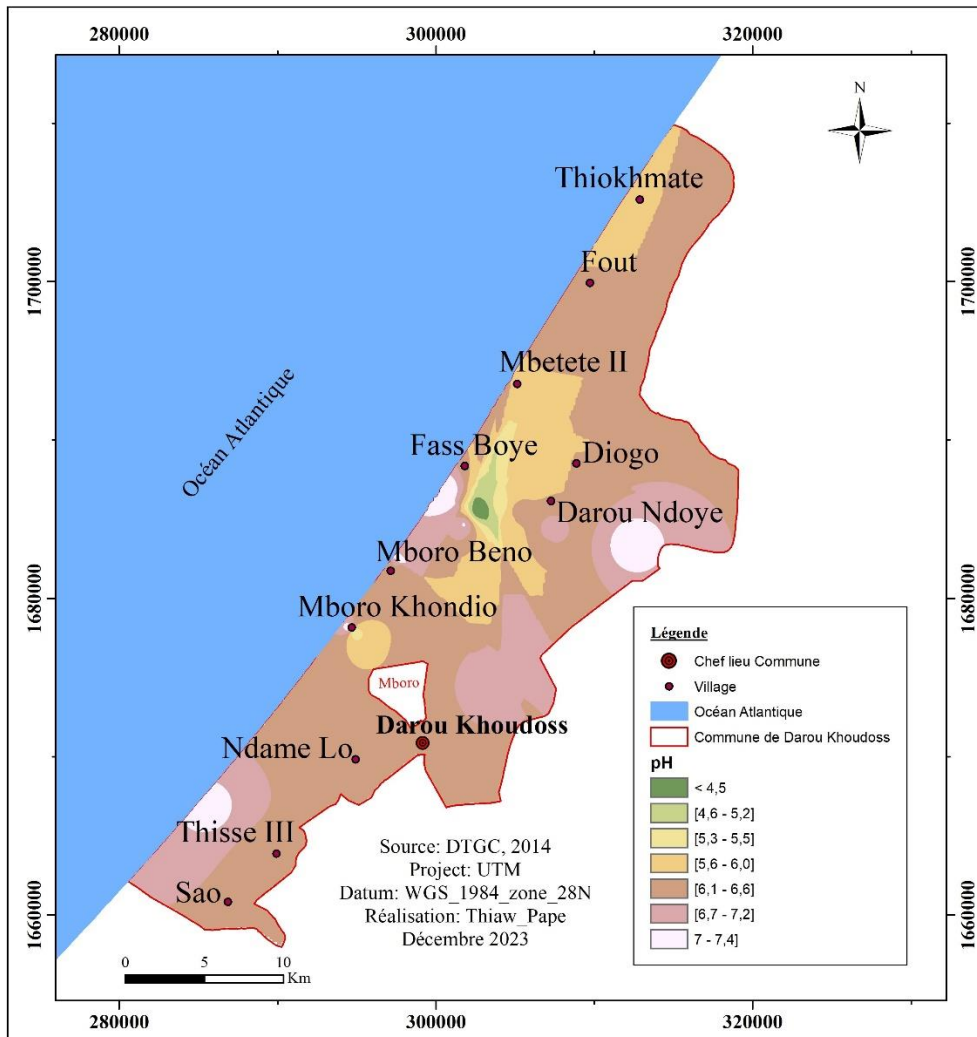


Figure 5. Carte de la variabilité spatiale du pH

En effet, aucun échantillon n'est classé comme alcalin ou très alcalin. Cela suggère une tendance vers l'acidité dans l'échantillon analysé.

Concernant la conductivité électrique, l'analyse des données montrent une diversité dans les niveaux de salinité du sol, allant de non salin (12/40) avec une CE inférieure à 250 $\mu\text{m}/\text{cm}$ à extrêmement salin (5/40 échantillons ayant une CE supérieure à 2000 $\mu\text{m}/\text{cm}$). Leur cartographie a permis ainsi de visualiser la répartition spatiale de ces différentes catégories de salinité dans cette Commune de Darou Khoudoss.

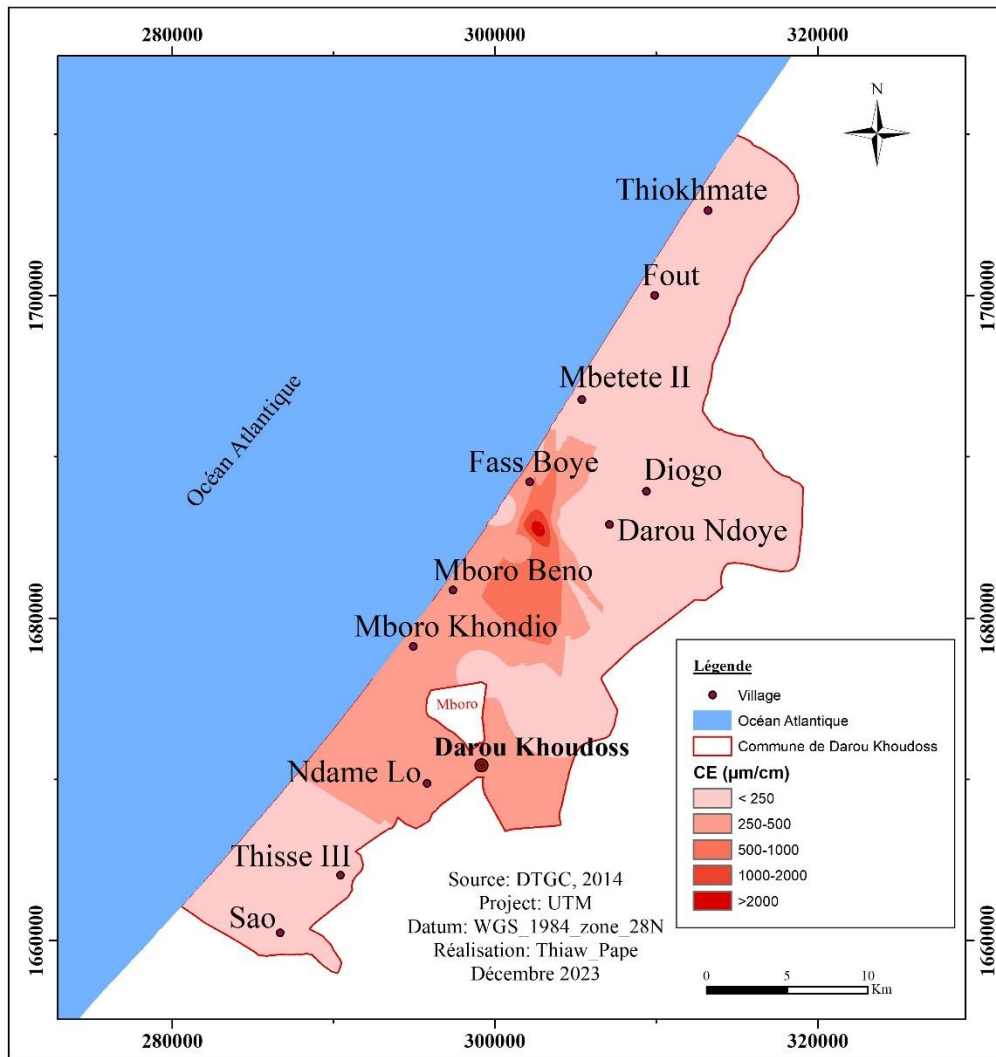


Figure 6. Carte de la variabilité spatiale de la Conductivité électrique

La majorité des échantillons sont non salins ou présentent une légère salinité, mais il existe également une proportion significative de sols salins (9/40), très salins (9/40) et extrêmement salins (5/40), localisés vers Ndame Lo, Darou Khoudoss, Mboro Khoundio, Mboro Benno, Fass Boye. Cela suggère une variation de la salinité du sol dans l'échantillon analysé, avec quelques zones présentant une salinité plus élevée. L'analyse des échantillons établit alors différents niveaux de salinité du sol comme nous pouvons les lire sur la figure 4 ci-dessus.

L'analyse synthétique des paramètres chimiques et des éléments fertilisants du sol présentée dans la figure 7 ci-dessous offre un aperçu détaillé de la composition chimique et nutritive des sols dans différents sites. Les données recueillies comprennent une gamme de paramètres essentiels tels que le pH, la conductivité électrique, le pourcentage de carbone organique, la teneur en azote, les cations échangeables, les niveaux de phosphore et de soufre, ainsi que la capacité d'échange cationique. Ces paramètres sont fondamentaux pour évaluer la fertilité et la

qualité des sols, et ils jouent un rôle crucial dans la croissance des cultures et la productivité agricole de cette Commune de Darou Khoudoss.

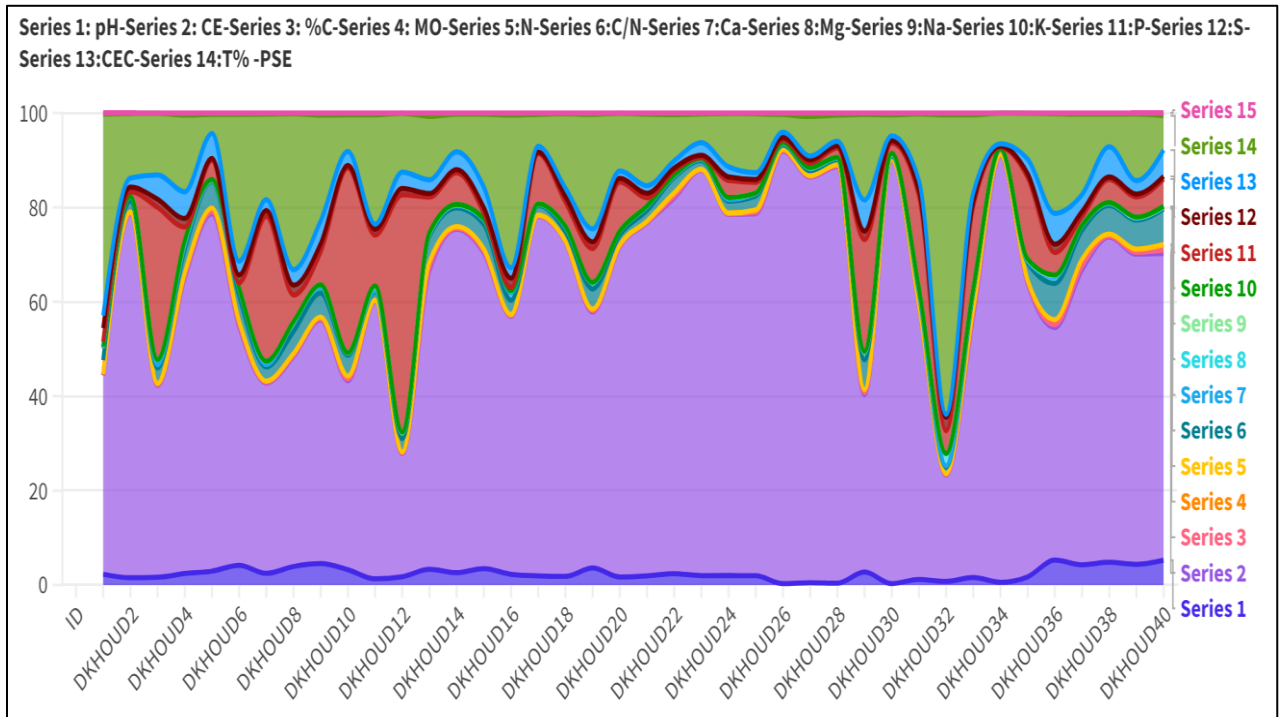


Figure 7 : Aperçu synthétique des paramètres chimiques et des éléments nutritifs du sol

En examinant ces données de manière synthétique, nous pouvons clairement identifier des tendances et des variations significatives qui peuvent influencer les pratiques de gestion des sols et aider à optimiser les rendements agricoles tout en maintenant la durabilité de cet écosystème.

La figure fournit des données sur divers paramètres chimiques du sol pour différents horizons (0-30 cm) dans différents sites (P1 à P8). En plus du pH et de la CE analysés précédemment (Fig. 5 et Fig. 6), des éléments fertilisants tels que le % de Carbone (%C) et Matière Organique (MO %) sont représentés. Des valeurs plus élevées de %C et de MO % indiquent une matière organique plus importante dans le sol.

- Le %C varie de 0,125% à 1,687%. La majorité des échantillons ont une teneur en carbone classée comme faible ($\%C < 1$), tandis qu'il y a un nombre relativement faible d'échantillons avec une teneur en carbone moyenne ($1\% \leq \%C \leq 2\%$) ou élevée ($\%C > 2$). Cela suggère une variation dans le contenu en carbone des échantillons analysés, avec une prédominance de faibles niveaux de carbone du sol.

- Le % de la MO du sol varie de 0,216% à 3,026%. Malgré cette variation, la plupart des échantillons ont des niveaux de matière organique modérés, avec la majorité se situant dans la

plage de 0,5 % à 2 %. En effet, une matière organique adéquate dans le sol est essentielle pour maintenir sa structure, sa fertilité et sa capacité de rétention d'eau. Les niveaux plus élevés de matière organique (3,026%) indiquent une meilleure santé globale du sol et une activité biologique accrue.

- En ce qui concerne le % d'Azote (N %), on note une variation de 0,022% à 0,157%. Le % N est également important pour la croissance des plantes et la fertilité du sol. La majorité des échantillons ont une teneur en azote classée comme faible ($0,1\% \leq N < 0,2\%$) à moyenne ($0,2\% \leq N < 0,5\%$), avec quelques échantillons (12/40) présentant une teneur élevée en azote ($N \geq 0,5\%$). Cela suggère une variation dans la teneur en azote des échantillons analysés, avec une prédominance de niveaux faibles à moyens d'azote.

- Le ratio C/N varie aussi de 5,591 à 10,807 alors qu'un ratio plus faible indique une décomposition plus rapide de la matière organique.

- Pour les cations échangeables (Ca, Mg, Na, K), les concentrations également varient selon les sites. Ils sont par ailleurs importants pour la nutrition des plantes et l'équilibre ionique du sol.

- Par rapport au Calcium du sol (Ca), la plupart des échantillons de sol ont un niveau de calcium classé comme faible ($100 \leq Ca < 150$ meq/100g : 5/40 des échantillons) à très riche ($Ca \geq 250$ meq/100g : 21/40 des échantillons), avec une prédominance de niveaux moyens à élevés de calcium. Donc nous avons une variabilité dans le niveau de calcium des échantillons analysés, avec certains présentant des niveaux particulièrement élevés.

- La plupart des échantillons ont un niveau de magnésium classé comme faible ($3 \leq Mg < 5$ meq/100g) à conseiller ($6 \leq Mg < 10$ meq/100g), avec quelques échantillons présentant un niveau très faible ($Mg < 3$ meq/100g), riche ou très riche en magnésium. D'où une variabilité dans le niveau de magnésium des échantillons de sol, avec une prédominance de niveaux moyens à conseillés.

- Une variabilité est notée dans le niveau de potassium des échantillons analysés, avec une prédominance de niveaux faibles, soit 32/40 des échantillons.

- Concernant les niveaux de Phosphore (P ppm) du sol, on note des variations considérables, allant de 1,24 à 154,50 ppm. La plupart des échantillons ont un niveau de P classé comme conseillé, avec une distribution relativement uniforme entre les catégories faible, riche et très riche. Cependant, il y a une proportion notable d'échantillons avec des niveaux très faibles de phosphore. Il faut noter que le phosphore est essentiel pour la croissance des plantes.

- Une certaine variabilité est également enregistrée dans le niveau de Soufre (S meq/100g) des échantillons de sol analysés, avec une prédominance de niveaux très faibles à faibles. Même si

les concentrations de soufre varient de 0,08 à 6,88 meq/100g. Cependant, le soufre est important pour divers processus métaboliques des plantes.

- La majorité des échantillons ont donc une capacité d'échange cationique classée comme faible (12/40 des échantillons) à modérée (13/40 des échantillons), avec quelques échantillons présentant des niveaux élevés (10/40 des échantillons) à très élevés (3/40 des échantillons). Cela indique une variabilité dans la capacité d'échange cationique des échantillons analysés, avec une prédominance de niveaux faibles à modérés.

En se basant sur cette analyse et interprétation des données, il est opportun d'entamer la discussion des résultats afin de mieux comprendre les implications de ces variations dans les niveaux de dégradation physico-chimique des sols dans ces *Niayes* de la Commune de Darou Khoudoss.

4. Discussion

Les résultats ont mis en évidence une dégradation physico-chimique importante des sols des *Niayes* de la communes Darou Khoudoss. Cette nouvelle compréhension met en évidence la gravité de la dégradation des sols dans ce secteur des *Niayes*, révélant ainsi une salinité plus élevée, des déséquilibres de pH et une fertilité réduite des sols de ces cuvettes agricoles.

Pour ce qui concerne le pH du sol, nous avons vu à travers nos résultats qu'à l'exception de quelques surfaces qui présentent des poches de sol neutre (pH compris entre 6,7 et 7,2), tout le périmètre de Darou Khoudoss est caractérisé par des sols allant de la gamme légèrement acides à extrêmement acides. Quant à la Conductivité Electrique (CE), les résultats suggèrent une variation de la salinité du sol dans l'échantillon analysé, avec quelques zones présentant une salinité plus élevée. Malgré que la majorité des échantillons sont non salins ou présentent une légère salinité, il existe une proportion importante de sols salins (9/40), très salins (9/40) et extrêmement salins (5/40), localisés vers Ndam Lo, Darou Khoudoss, Mboro Khoundio, Mboro Benno, Fass Boye. Les résultats obtenus sont ainsi comparés avec ceux d'autres recherches pour établir une perspective globale de cette problématique de la dégradation physico-chimique des sols dans les *Niayes*.

Les travaux de l'INP (2013), confirme cette dynamique de la dégradation des sols dans les *Niayes* en montrant qu'une superficie de 47000 hectares de terre des *Niayes* sont en état de dégradation réparties comme suit : salinisation : 5000 ha ; érosion hydrique : 30000 ha et érosion éolienne : 12000 ha.

En effet, le pH est un paramètre essentiel de la dynamique du sol car, en plus de fournir des informations sur le degré d'acidité ou de basicité, il influence la biodisponibilité des nutriments pour la plante, à travers des phénomènes de solubilisation et d'insolubilisation de chaque élément. Il influence également l'activité biologique et la stabilité structurale. Lorsque le pH du sol est inférieur à 6, la plante n'est plus capable d'assimiler certains nutriments tout comme à un pH supérieur à 7. La plupart des plantes ont donc une croissance optimale à pH compris entre 6 et 7 car la majorité des éléments nutritifs sont assimilables dans cet intervalle. Il est important de noter que le pH est fortement dépendant de la teneur en calcium échangeable et indépendant de celle en potassium. Tout comme la conductivité électrique (CE) qui permet, en effet, de mesurer la concentration ionique et la teneur en électrolytes hydrosolubles (salinité) dans le sol. Elle dépend de la présence d'électrolytes libres dans le sol et sert à caractériser la présence de sels solubles. En mesurant la conductivité, on estime qu'en dessous d'une conductivité de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la présence de sels solubles est négligeable.

Ainsi, dans le contexte actuel, l'obsession du rendement et de la rentabilité qui anime les maraichers tend à exacerber la recrudescence de la production agricole. La modernisation de l'agriculture et son intensification ont été également accompagnées d'une utilisation abusive et non rationnelle des engrais et produits chimiques notamment et contribuent à la dégradation des sols. Quant aux pesticides, ils sont utilisés en agriculture pour protéger les cultures et les récoltes contre généralement les insectes prédateurs afin d'augmenter les rendements (Oubaghan N., 2011 ; Melght M., 2012).

Il est estimé environ 600 tonnes de pesticides solides et plus d'un million de litres de pesticides sont en moyennes utilisés dans les Niayes selon Diandy M. (2010). Ainsi, l'usage systématique d'engrais chimiques et des pesticides dans les cultures, se traduit par une contamination accrue des sols et des eaux d'irrigation.

Les résultats de la granulométrie mettent également en exergue une texture sableuse prédominante dans cette Commune de Darou Khoudoss avec une proportion importante de Sable Moyen (SM) suivie des Sable Fin (SF) et des Sable Très Fin (STF). Tandis qu'une texture de Sable Très Grossier (STG) est inexistante et dont le Sable Grossier (SG) représente environ 0,14% en moyenne et se présente uniquement sur deux parcelles P5 et P7 sur les 11. Ce qui rend favorable une dynamique d'érosion éolienne qui se solde par une morphodynamique sédimentaire qui contribue ainsi à ensabler les cuvettes agricoles.

Les travaux de Seck. B., 2019 mettent également en lumière des mécanismes similaires, soulignant l'importance de la dynamique de l'ensablement sur le littoral nord sénégalais,

particulièrement dans la zone de Mboro. Il s'agit d'une autre forme de dégradation physique des sols liée essentiellement à remobilisation de particules de sols de type sableux fins à très fins et qui contribuent à colmater les cuvettes agricoles. Son bilan massique journalier s'établit pour le premier dispositif de collecte à 306.826 g et pour le second dispositif à 230.685 g. Ce bilan est obtenu sur une surface dunaire de 1260 cm², soit 0.126 m². Il est cependant important d'estimer par extrapolation les débits massiques par hectare et par mois, soit sur une aire de 10 000 m² en 30 jours dans les mêmes conditions de la saison sèche chaude. Ce qui est ainsi favorable à l'ensablement des cuvettes agricoles de ce secteur des *Niayes* en plus de la dégradation physico-chimique des sols.

En ce qui concerne les éléments nutritifs du sol, on note à travers les résultats une variation en carbone des échantillons analysés, avec une prédominance de faibles niveaux de carbone du sol (%C < 1). Le % de la MO du sol varie de 0,216% à 3,026% et malgré cette variation, la plupart des échantillons ont des niveaux de matière organique modérés (0,5 % à 2 %).

De nouvelles recherches de beaucoup de scientifiques démontrent que, lorsque le taux de MO du sol est descendu trop bas, les cultures ne répondent plus à l'application de fumures minérales : la croissance de leur production ne couvre plus le coût des engrais. Pour la plupart des résultats des auteurs, beaucoup d'entre elles confirment que le maintien d'un niveau suffisant de MO dans le sol est essentiel tant pour l'infiltration de l'eau et son stockage dans les horizons parcourus par les racines, que pour les êtres vivants dans le sol qui interviennent pour la croissance des plantes (Marenya & Barrett, 2009 ; Rishirumuhirwa, 2006 ; Roose et *al.*, 2011).

Les sols sont généralement une ressource naturelle essentielle pour la survie de l'humanité et de toutes les formes de vie sur terre. Ils fournissent de nombreux services écosystémiques tels que la production alimentaire, la filtration de l'eau, la régulation du climat et la biodiversité. Ils fournissent des nutriments pour la croissance des plantes et abritent une grande diversité de micro-organismes. Cependant, ces mêmes sols sont souvent soumis à des pressions anthropiques telles que l'agriculture intensive avec les mauvaises pratiques agricoles, l'urbanisation, la déforestation et la surexploitation. Ces mêmes pressions sont considérées comme étant le fil conducteur à la dégradation physico-chimique des sols dans les *Niayes* de la Commune de Darou Khoudoss, avec des conséquences néfastes sur l'environnement, l'économie et la santé humaine.

5. Conclusion

L'analyse de la dégradation physique et chimique des sols à Niayes, dans la Commune de Darou Khoudoss révèle une situation préoccupante. Les paramètres physiques en l'occurrence la granulométrie indiquent une texture globalement sableuse, dominée par des particules de taille moyenne à fine. Les paramètres chimiques montrent que la plupart des sols sont légèrement à extrêmement acides, à l'exception de quelques zones neutres. La diversité des niveaux de salinité des sols, de non salin à extrêmement salin, met en évidence un problème important de salinité. De plus, les éléments fertilisants des sols sont généralement faibles, soulignant l'appauvrissement des sols. Des mesures urgentes de protection et de restauration des sols sont nécessaires pour garantir la durabilité de l'agriculture, du maraichage particulièrement en tant qu'activité principale dans cette Commune.

REFERENCES

- [1] AUMN, 2014. Projet de production durable et compétitive du chou dans la zone des Niayes. Rapport du quatrième semestre, 39 p.
- [2] ANSTS (2019). Restauration et valorisation des terres salées au Sénégal. Académie nationale des sciences et techniques du Sénégal. Dakar.
- [3] Adjovi I. S. M. et al., 2020. « Les pratiques d'utilisation des pesticides par les maraichers au benin : perspectives sociologiques » Global Journal of Arts, Humanities and Social Sciences Vol.8, No. 2, pp.22-45
- [4] Atlas des pesticides. 2023. Faits et chiffres sur les substances chimiques toxiques dans l'agriculture. 68 p.
- [5] Barreto. S.P 1963. Études pédologiques des Niayes méridionales (entre Kayar et Mboro). Rapport ORSTOM Dakar. 120 p.
- [6] Beaudet G., 1992. « Dynamique et dégradation des milieux physiques de l'Ouest africain », In Annales de Géographie, t. 101, n°564, pp : 214-219.
- [7] Ba E. 2004. « Situation du Sénégal sur les questions d'érosion côtière Atelier de Planification du projet régional pour la protection du littoral et la gestion intégrée des zones côtières ». 15 p.
- [8] Bocoum. M, (2004). Méthodes d'analyses des sols. Document de travail. Institut National de Pédologie, Dakar-Sénégal, 55 p.
- [9] Ba B., 2006. Etude géographique de l'agriculture en Afrique noire : Analyse des productions céréalières et des systèmes alimentaires au Sénégal, thèse de Doctorat, université de Genève, 383 p.

- [10] Bodian. L, (2011). Enquête sur l'utilisation des pesticides par les maraichers dans les « Niayes » au Sénégal ; Mémoire de Master II, Département de Biologie Végétale, UCAD ; 38p.
- [11] CSE (2015). Rapport sur l'État de l'Environnement (REE) du Sénégal. Edition 2015. Centre de Suivi Ecologique (CSE).
- [12] CILSS, 2020. Liste globale des pesticides autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides. Institut du Sahel. Comité Sahélien des pesticides. 49 p.
- [13] CICODEV Africa (2020). Note d'information et d'orientation. Agroécologie.
- [14] Dia. S, 2000. Les Niayes nord (Sénégal) : évolution d'une région littorale en crise. Thèse de 3^{em} cycle, Université de Rouen, 453 p.
- [15] Dasyuva. S, 2009. Rapport de mission sur les Niayes di littoral nord Sénégalais. Projet SAHELP, mission LSCE et SISYPHE ; Paris, 25 p.
- [16] Emmanuel Geoffriau, 2014, la conception de systèmes horticoles écologiquement innovants, guide d'usage, UVED, 24 p.
- [17] Diop. E. M., (2015). Enquête sur les connaissances, attitude et pratique liées à l'utilisation des pesticides dans la zone des Niayes. Thèse de 3^{em} cycle de Médecine, UCAD ; 152p.
- [18] Diallo M.D. et al, 2015. « Etude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone Nord des Niayes (Sénégal) », African Crop Science Journal, Vol. 23, numéro 2, pp : 101-111
- [19] Diallo Mariama Dalanda, NGAMB T., TINE Alphonse. K., GUISSÉ M., O. NDIAYE, SALEH M. MAHAMAT, A. DIALLO, S. SECK, A. DIOP, A. GUISSÉ, 2015, Etude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone Nord des Niayes (Sénégal), AfricanCrop Science Journal, Vol. 23, No. 2, pp : 101-111.
- [20] Dieng, M. (2020). « Impacts des changements climatiques sur l'agriculture dans les Niayes : Cas de la Commune de Darou Khoudoss ». Annales de Géographie du Sénégal, 22(1), 89-105.
- [21] Fall A.S., Fall S.T., 2001. Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les Grandes Niayes au Sénégal, CRDI, 119 p.
- [22] Faye Serigne, 2017. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe des Niayes à l'intrusion saline : Evaluation - cartographie et orientations stratégiques pour une meilleure gestion. Rapport final-cartographie de la vulnérabilité de la Zone des Niayes-PADEN. 81 p.
- [23] Fall M., Niang S. & Sy B.A. (2022). Les Niayes du Littoral Nord du Sénégal: Processus de Mise en Place, Salinisation des eaux Souterraines et des Sols. ESI Preprints.
- [24] 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.

- [25] Niang S, SY A.A., SY B.A., 2016. « Evolution spatiale et hydrochimique de la salinité de l'eau d'irrigation dans le gandiolais, littoral nord du Sénégal », revue de géographie du laboratoire Leïdi, pp : 241-257.
- [26] Seck Mouhamadou Bassirou, Sy Amadou Abou, Sy Boubou Aldiouma, 2020, « Transport des débits massiques éoliens dans la zone des Niayes : cas du secteur de Mboro, littoral Nord du Sénégal ». RGLL, n°23, juillet 2020, p. 203-217.
- [27] 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.