



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 18(3): 1128-1139, June 2024

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Caractérisation physico-chimique des sols situés dans une zone à forte pollution industrielle : Cas des communes de Ngoundiane et de Rufisque au Sénégal

Galass DIOUF^{1,2}, Abdou Khadre Djily DIME^{1*}, Abdoul DIA¹, Babacar YATT¹ et Modou FALL²

¹*Equipe Matériaux, Electrochimie et Photochimie Analytiques (EMEPA), Université Alioune Diop de Bambey, B.P. 30 Bambey, Sénégal.*

²*Laboratoire de Chimie Physique Organique et d'Analyses Environnementale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal.*

**Auteur correspondant ; E-mail: abdou.dime@uadb.edu.sn*

Received: 03-05-2024

Accepted: 21-06-2024

Published: 30-06-2024

RESUME

La pollution industrielle est l'une des principales sources de contaminations des sols. Pour évaluer l'impact de cette pollution dans les sols aux alentours des usines d'exploitation du basalte et de fabrication du ciment, une étude a été menée dans la commune de Ngoundiane et la ville de Rufisque au Sénégal. Pour ce faire, nous avons retenu, dans chaque zone, deux points de prélèvements distants de quelques kilomètres. Les caractérisations des échantillons ont porté sur la détermination de certains éléments ainsi qu'une caractérisation précise des propriétés telles que la granulométrie, le pH et la conductivité électrique. Les résultats des caractérisations chimiques des échantillons ont montré une prédominance de sols hydromorphes à texture sableuse. En outre, les sols à proximité des usines renfermaient des teneurs plus élevées en calcium, potassium, magnésium, ce qui constitue une réelle menace sur la santé des populations. Cette présence significative de ces éléments explique parfaitement l'augmentation de la conductivité électrique. Ces résultats indiquent une corrélation entre l'augmentation de la matière organique avec le pH dans la zone de Rufisque. Il ressort de cette étude que les sols prélevés dans les zones relativement éloignées des usines, sont riches en phosphores, témoignant l'impact des activités agricoles dans ces zones.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Sol, pollution, qualité physico-chimique, Rufisque, Ngoundiane.

Physico-chemical characterization of soils located in areas with high industrial pollution: Case of cities of Ngoundiane and Rufisque in Senegal

ABSTRACT

Industrial pollution is one of major sources of soil contamination. To evaluate the impact of this pollution in the soils around the basalt mining and cement manufacturing plants, a study was carried out in the Senegalese cities of Ngoundiane and Rufisque. For this, we selected, in each area, two sampling points a few kilometers apart. The characterizations of soils samples focused on the determination of certain elements, as well

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v18i3.32>

9669-IJBCS

as a precise characterization of properties such as particle size, pH and electrical conductivity. The results indicated a predominance of hydromorphic soils with sandy texture. Also, the soils near factories contained higher levels of calcium, potassium and magnesium, which constitutes a real threat to people's health. This significant presence of these elements perfectly explains the increase in electrical conductivity. These results indicate a correlation between the increases of the organic carbon and basic nature of soil in the Rufisque zone. It appears from this study that the soils taken from areas far from factories are rich in phosphorus, reflecting the impact of agricultural activities in these areas.

© 2024 *International Formulae Group. All rights reserved.*

Keywords: Soil, pollution, physico-chemical quality, Rufisque, Ngoundiane.

INTRODUCTION

Au Sénégal., comme dans plusieurs autres pays à travers le monde, une grande variété d'éléments métalliques se retrouvent dans l'environnement, parfois rejetées par les activités industrielles et métallurgiques (Zongo et al., 2009 ; Diouf et al., 2022 ; Boye et al., 2023). Ces facteurs anthropiques rendent les sols très vulnérables aux pollutions (Sahrawat et al., 2001 ; Kouakou et al., 2024).

Les sols jouent un rôle crucial dans la rétention des substances nutritives et de l'eau, cette dernière étant filtrée et purifiée pendant son écoulement. De plus en plus, les sols peuvent modifier les propriétés chimiques de l'eau et influencer la qualité d'eau qui retourne dans la nappe phréatique (Dimé et al., 2018 ; Dimé et al., 2020). Par conséquent, pour assurer une utilisation durable et une conservation appropriée des sols, il est essentiel d'acquérir continuellement des informations et de caractériser leur composition (Kroener et al., 2014 ; Bottinelli et al., 2015). En effet, la croissance et la composition des plantes sont directement liées à la nature et à l'abondance des ressources minérales présentes dans le sol, qui sont indispensables à leur nutrition (Bouchand et al., 2009 ; Jarvis et al., 2016 ; Colombi et al., 2017).

En effet, les conditions climatiques drastiques de ces dernières décennies ont fragilisé le système de production en Afrique. À cette contrainte liée à la pluviométrie, s'ajoute une déficience en phosphore qui est un facteur limitant à la production agricole de la plupart des sols (Feller et al., 2019). Par ailleurs, plusieurs facteurs concourent à compromettre la disponibilité des éléments

nutritifs, notamment le phosphore, en raison de leur réaction avec certains cations métalliques (Graham et al., 2005 ; Akanza et al., 2017).

Cette pollution peut se manifester par une carence de la fertilité, une croissance réduite des plantes et une vulnérabilité aux maladies (Yao et al., 2020 ; Tyano et al., 2022). C'est dans cette optique que la présente étude a été menée, d'une part, à Ngoundiane où le problème de la pollution est principalement lié à l'activité des carrières et d'autre part à Rufisque, aux alentours de l'usine de fabrication du ciment afin d'identifier les facteurs susceptibles d'influencer négativement le sol (Dimé et al., 2018 ; Dimé et al., 2020).

En outre, la proximité avec la mer qui est à l'origine du phénomène de la salinisation des sols, l'utilisation des engrais et des pesticides dans les activités agricoles et d'autres activités industrielles peuvent provoquer une contamination des sols. A cet égard, le contexte environnemental et industriel de notre milieu d'étude et particulièrement sa pollution, retient notre attention au regard des investissements humains, financiers et techniques (Hafizur et al., 2012).

L'étude était consacrée à la caractérisation physico-chimique des sols situés dans des zones à forte pollution industrielle : la commune de Ngoundiane (région de Thiès) et de la ville de Rufisque (région de Dakar).

MATERIEL ET METHODES

Prélèvement des échantillons de sol

Au cours de notre étude, nous avons ciblé deux sites d'échantillonnage dans chaque

zone d'étude. Pour des études comparatives, nous avons considéré un point près de la zone à risques de pollution et un autre point relativement éloigné de cette zone. Dans la zone de Rufisque, les échantillonnages ont été effectués dans le site de Darou Karim (P1 à P5) à 300 m de la cimenterie et dans le site de Diorga Chérif (P6 à P7) situé à 3 km. Et dans la zone de Ngoundiane, les échantillons sont prélevés dans le site de Diack proche de la carrière (P1 à P5) et dans la zone de la commune de Ngoundiane (P6 à P7) située à 5 km de la carrière. L'échantillonnage était précédé par une prospection pédologique dont le but était d'obtenir une image représentative des divers types de sol.

L'échantillonnage commençait par un maillage du terrain d'étude en fonction des critères d'homogénéité. Les échantillons de sol étaient ensuite prélevés à l'aide d'une tarière tripartite et d'un GPS pour prendre les coordonnées géographiques de chaque point.

Méthodes analytiques de caractérisation

La teneur des particules du sol (sable, limon, argile) a été déterminée par la méthode de Robinson (Issola et al., 2009). Une quantité de 20 g de sol tamisé et non broyé a été prélevée et transmise dans des allonges de 1 litre dans lesquelles on a ajouté 25 mL d'hexamétophosphate de sodium dans chacune d'elle. Le carbone total et les matières organiques totales ont été mesurés par la méthode de Walkley-black (Nelson et al., 1996 ; Bouajila et al., 2014). Le carbone a été oxydé à chaud avec un mélange d'acide sulfurique concentré (95-97%, Sigma-Aldrich) et de dichromate de potassium (> 99%, Sigma-Aldrich). La méthode utilisée pour le dosage du phosphore a été celle d'Olsen pour laquelle la solution d'extraction est l'hydrogénocarbonate de sodium. L'azote total a été analysé par un auto-analyseur après une minéralisation dans de l'acide sulfurique concentré (H₂SO₄) en présence d'un catalyseur (sélénium + acide salicylique). Le photomètre à flamme a été utilisé pour déterminer les bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺). La Capacité d'Echange Cationique (CEC) a été déterminée par spectrophotométrie. La mesure de la

conductivité électrique (CE) a été effectuée à l'aide un pH-mètre multifonctionnel du type HORIBA sur un échantillon de sol présentant un rapport sol/eau distillée de 1/5, soit 15 g de « terre fine » mélangée à 75 mL d'eau distillée. Pour mesurer le pH des échantillons de sol, la suspension devrait être au 2/5, soit 10 g de sol mélangé à 50 mL d'eau distillée. De la même manière, cette mesure a été effectuée à l'aide du même pH-mètre.

Analyses statistiques des données

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel R 4.3.0, au seuil de significativité de 5% selon le test de Student and Newman-Keuls (SNK) pour comparer les moyennes observées sous les différents traitements.

RESULTATS

Les paramètres physiques

L'analyse en composantes principales (ACP) a montré que les 4 premiers axes expliquent 71,1% de l'information pour la zone de Ngoundiane et 63,09% pour la zone de Rufisque. Le plan factoriel principal Dim1 et Dim2 renferment respectivement 54,14% et 16,96% dans les zones de Ngoundiane et de Rufisque.

Le Tableau 1 récapitule les résultats de la teneur des différentes fractions granulométriques et la texture des sols. Dans ce tableau, nous pouvons constater une composition en argile, en limon et en sable de la texture des sols dans les zones de Ngoundiane et de Rufisque. D'après les résultats obtenus, on note une forte prédominance des sols sablonneux de 99 à 100% composant la quasi-totalité de cette étude. Les autres composantes analysées telles que l'argile et le limon ont des pourcentages relativement faibles.

Le Tableau 2 présente les mesures de pH et de conductivité électrique CE des sols analysés. La mesure du pH des échantillons de Ngoundiane donnait des valeurs qui variaient entre 5,7 et 7,2, ce qui tend à prouver un caractère non salin de ce type de sol. Dans la zone de Rufisque, les sols analysés dans le site

de Diorga Cherif présentait un pH compris entre 7,9 et 8,5 et sont considérés peu alcalins tandis que les sols de Darou Karim analysés étaient plus alcalins, avec un pH compris entre 8,5 et 9,4. Les mesures de conductivité révèlent que les sols de Rufisque présentent les valeurs les plus élevées par comparaison à celles de Ngoundiane. L'analyse de l'ensemble des résultats porte particulièrement sur les caractéristiques physico-chimiques des sols des zones de Rufisque et de Ngoundiane. Elle concerne également les potentialités agronomiques de ces sols et leurs contraintes majeures de production agricole.

Les paramètres chimiques

Les Tableaux 3 et 4 présentent les teneurs obtenues en carbone, azote, potassium, matière organique, phosphore assimilable, bases échangeables ainsi qu'en capacité d'échange cationique (CEC) et en somme des bases échangeables (S). D'après nos résultats, il est établi que ces sols contenaient du carbone. L'analyse de ces tableaux montre que la teneur en carbone était plus importante dans la zone de Rufisque. Les résultats de l'analyse des sols ont permis de noter une relative richesse des zones agricoles de la zone de Ngoundiane en matière organique avec une teneur moyenne de 0,81%. Les sites de Darou Karim et de Diorga Cherif ont présenté la plus importante teneur en matière organique (MO) respectivement évaluée en moyenne à 1,73 et 0,57%. L'ensemble des zones étudiées a une teneur en azote comprise dans l'intervalle 0,07 - 0,35. Les résultats concernant les mesures des bases échangeables des deux sites ont montré que ces éléments étaient plus présents dans la zone plus proche de l'usine. Ces résultats ont été confortés par les faibles valeurs obtenues en capacité d'échange cationique (CEC). La mesure du phosphore à Ngoundiane et à Rufisque donne des valeurs faibles, ce qui indique que les sols étaient très pauvres en phosphore.

Les Figures 1 et 2 représentent la carte factorielle de l'ACP réalisée sur les composantes physico-chimiques des sols dans la commune de Ngoundiane et dans la ville de Rufisque. L'analyse de ces graphiques a permis de noter 4 groupes discriminant de part et d'autre.

Le groupe G1 est représenté par les variables en C, N, MO, PSE, Ca, Na, K, S, qui sont positivement corrélées à l'axe Dim 2 et aux échantillons de sol des zones de Diack constitués de sols sableux non salés dans les parties en amont de la commune de Ngoundiane. Cette corrélation positive est également observée dans les parties amont de Darou Karim de la ville de Rufisque. Ainsi, les principales caractéristiques de ces sols sont liées aux teneurs en C, N, MO, PSE, Ca, Na, K, S ;

Le groupe G2, composé de sols sableux non salés et pauvres en magnésium, est localisé dans la zone de Ngoundiane et de Diack et à une petite partie en aval de la zone de Darou Karim ;

Le groupe G3, composé pour la plupart d'échantillons de sol dans les deux zones de Ngoundiane et de Diorga Cherif dans leurs parties en amont comme en aval, est constitué de sols sableux non salés, à capacité d'échange cationique faible et pauvre en phosphore. Cependant, les composantes du groupe G1 sont négativement corrélées à la CEC à l'axe Dim 2 (G3). Ce qui traduit que les sols de la zone de Ngoundiane et de la ville de Rufisque sont peu fournis en bases échangeables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+).

Et enfin, pour le groupe G4 composé aussi de sols sableux non salés, on note dans la partie en amont comme en aval de la zone de Darou Karim de la ville de Rufisque une forte corrélation des variables pH. Tandis que pour la zone de Ngoundiane, les composantes du groupe G2 sont négativement corrélées au PSE et au Na^+ suivant l'axe Dim 2 (groupe G4) et vice versa.

Tableau 1 : Constituants physiques des sols de la zone de Ngoundiane et de Rufisque.

Echantillon	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Zone	Ngoundiane			Rufisque		
P1N1	0,06	0,45	99,49	0,01	0,22	99,77
P1N2	0,22	0,37	99,41	0,12	0,29	99,54
P2N1	0,44	0,76	98,80	0	0,93	99,07
P2N2	0,37	0,81	98,82	0	0,55	99,45
P3N1	0,43	0,56	99,00	0,35	0,70	98,95
P3N2	0,19	0,85	98,97	0,31	0,77	98,93
P4N1	0,30	0,40	99,30	0,51	0,22	99,27
P4N2	0,49	0,39	99,12	0,57	0,32	99,11
P5N1	0	0,34	99,66	0,64	0,27	99,09
P5N2	0	0,64	99,37	0,72	0,68	98,61
P6N1	0,54	0,48	98,98	0	0	100
P6N2	0,61	0,32	99,08	0	0	100
P7N1	0,41	0,20	99,39	0	1,45	98,55
P7N2	0,20	0,17	99,64	0	0,21	99,79

P puits de prélèvements ; N1 prélèvement en amont et N2 prélèvement aval.

Tableau 2 : Variabilité du pH et de la CE des sols dans les zones de Rufisque et Ngoundiane.

Echantillon	pH eau 1/ 2,5	CE 1/ 10 µs/cm	pH eau 1/ 2,5	CE 1/ 10 µs/cm
Zone	Rufisque		Ngoundiane	
P1N1	8,2	130	6,6	49
P1N2	8,7	116	6,9	11
P2N1	8,6	1586	7,2	30
P2N2	8,5	984	6,5	11
P3N1	8,5	78	7	32
P3N2	8,5	83	6,4	8
P4N1	8,5	113	6,8	14
P4N2	8,6	91	6,2	9
P5N1	9,4	133	6,5	13
P5N2	9	116	5,7	8
P6N1	8,2	9	6,1	12
P6N2	7,9	10	5,8	8
P7N1	8,5	88	6,1	12
P7N2	8,2	172	6,0	8

P puits de prélèvements ; N1 prélèvement en amont et N2 prélèvement aval.

Tableau 3 : Résultats chimiques des sols de Rufisque.

Echantillon	% C	% N	C/N	% MO	Ca meq / 100g	Mg meq / 100g	Na meq / 100 g	K meq / 100g	P ppm	S meq / 100g	CEC meq / 100g	% PSE
P1N1	1,02	0,24	4,12	1,76	19,13	3,375	0,428	0,294	0,3	23,22	11	3,9
P1N2	1,33	0,31	4,19	2,30	21,6	3,9	0,255	0,364	0,6	26,12	11	2,3
P2N1	0,75	0,17	4,20	1,29	20,85	3,525	0,4	0,182	0,6	24,96	7	5,7
P2N2	0,80	0,21	3,77	1,38	17,93	4,2	0,433	1,778	0,4	24,34	8	5,4
P3N1	1,51	0,35	4,29	2,61	12,75	1,875	0,295	0,896	0,1	15,82	8	3,7
P3N2	1,48	0,35	4,19	2,55	17,25	4,35	0,22	0,7	0,4	22,52	8	2,8
P4N1	0,64	0,17	3,59	1,10	12,23	1,65	0,223	0,42	0,2	14,52	8	2,8
P4N2	0,60	0,14	4,21	1,04	1,125	0,375	0,02	0,042	0,5	1,56	7	0,3
P5N1	0,97	0,24	3,90	1,67	25,13	1,5	0,18	0,308	0,3	27,11	9	2,0
P5N2	0,87	0,21	4,11	1,51	0,45	0,15	0,028	0,042	0,5	0,67	8	0,3
P6N1	0,23	0,07	3,23	0,41	21,75	2,25	0,203	0,364	27,5	24,57	10	2,0
P6N2	0,18	0,07	2,49	0,31	6,75	0,975	0,153	0,448	42,7	8,33	13	1,2
P7N1	0,47	0,14	3,31	0,82	23,4	5,85	0,283	0,364	51,3	29,90	11	2,6
P7N2	0,42	0,10	3,88	0,72	0,75	0,285	0,462	51,0	7,797	11	70,9	0,75

P puits de prélèvements ; N1 prélèvement en amont et N2 prélèvement aval ; C : carbone ; N : azote ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; Na : sodium ; K : potassium ; P : phosphore ; S : somme des bases échangeables ; CEC : capacité échange cationique ; PSE : pourcentage de sodium échangeable.

Tableau 4 : Résultats chimiques des sols de Ngoundiane.

Echantillon	% C	% N	C/N	% MO	Ca meq /1 00g	Mg meq / 100g	Na meq / 100g	K meq / 100g	P ppm	S meq /1 00g	CEC meq / 100g	% PSE
P1N1	0,60	0,15	3,92	1,04	3	0,97	0,06	0,19	5,76	4,23	6	1
P1N2	0,40	0,10	3,71	0,60	2,25	0,37	0,05	0,08	4,99	2,75	5	1
P2N1	0,69	0,17	3,89	1,19	2,62	0,75	0,02	0,16	11,05	3,57	5	0,55
P2N2	0,53	0,14	3,70	0,91	1,65	0,67	0,02	0,07	11,05	2,41	6	0,33

P3N1	0,45	0,14	3,18	0,78	1,72	1,35	0,02	0,16	10,28	3,26	6	0,37
P3N2	0,62	0,17	3,48	1,07	1,50	0,75	0,02	0,04	16,81	2,31	6	0,37
P4N1	0,51	0,14	3,57	0,88	1,35	0,75	0,01	0,08	7,42	2,20	4	0,43
P4N2	0,42	0,10	3,88	0,72	1,80	0,82	0,04	0,04	6,06	2,71	7	0,64
P5N1	0,40	0,10	3,71	0,69	0,97	0,67	0,02	0,08	4,56	1,75	6	0,33
P5N2	0,42	0,10	3,88	0,72	0,75	0,75	0,03	0,07	25,35	1,60	9	0,36
P6N1	0,53	0,14	3,70	0,91	0,97	1,2	0,01	0,05	20,14	2,24	8	0,21
P6N2	0,32	0,10	3,03	0,56	0,82	0,67	0,01	0,08	12,88	1,59	9	0,13
P7N1	0,29	0,10	2,70	0,50	0,90	0,75	0,01	0,08	8,62	1,74	8	0,18
P7N2	0,34	0,10	3,20	0,59	0,75	0,75	0,04	0,08	12,71	1,62	8	0,56

P puits de prélèvements ; N1 prélèvement en amont et N2 prélèvement aval ; C : carbone ; N : azote ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; Na : sodium ; K : potassium ; P : phosphore ; S : somme des bases échangeables ; CEC : capacité échange cationique ; PSE : pourcentage de sodium échangeable.

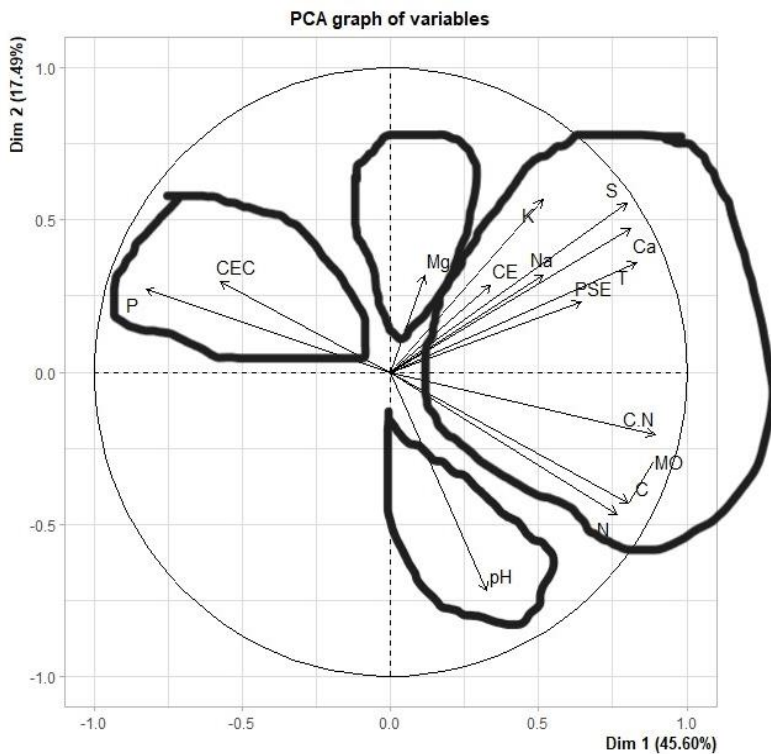


Figure 1 : La carte factorielle de l'ACP réalisée sur les composantes physico-chimiques des sols dans la commune de Ngoundiane.

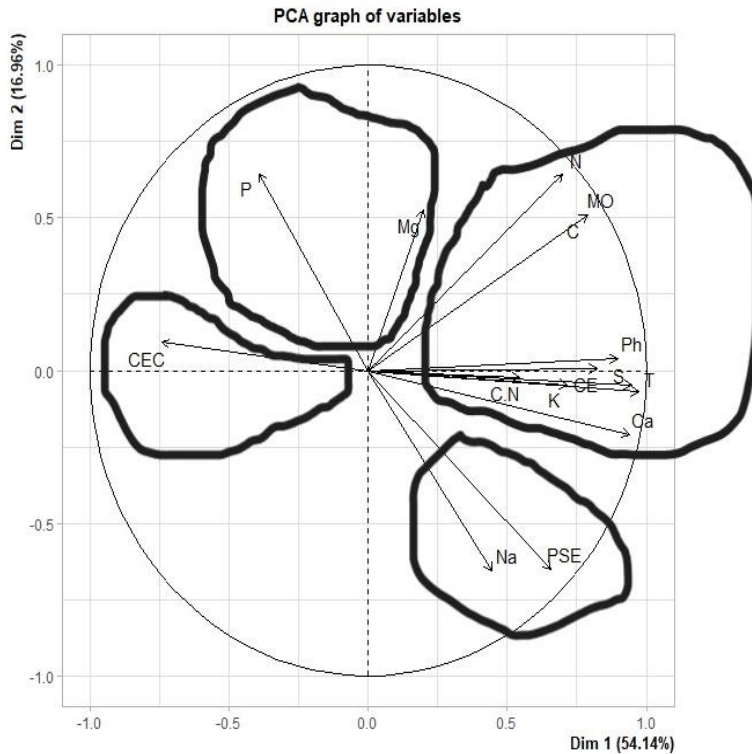


Figure 2 : La carte factorielle de l’ACP réalisée sur les composantes physico-chimiques des sols dans la ville de Rufisque.

DISCUSSION

L’étude des sols a été réalisée pour comprendre et analyser ses caractéristiques physiques et chimiques. Les objectifs spécifiques de cette étude peuvent varier en fonction des domaines d’application tels que l’agriculture, l’ingénierie environnementale, la géologie, etc. A noter que dans notre zone d’étude, le problème de la pollution est principalement lié à l’insuffisance de l’assainissement mais aussi de l’activité industrielle qui s’y déroule.

A partir des résultats d’analyse, il est constaté une quasi-similitude entre les teneurs des fractions de sol des différents sites de prélèvements. Comme décrit par Kpan et al. (2023), les ressources pédologiques de Ngoundiane et Rufisque présentent, du point de vue de leurs propriétés physiques, une texture relativement équilibrée, de nature principalement limono-sablo-argileuse. En effet, toutes les trois fractions

granulométriques sont d’une manière générale représentées. Ce qui leur confère de bonnes potentialités agronomiques surtout pour la production du mil, de l’arachide et certaines cultures maraîchères. Ce résultat pourrait être expliqué, en partie, par l’érosion hydrique observé au niveau du plateau. En plus, ces sols ont une structure relativement stable à caractère hydromorphe, en raison de leur bonne capacité de rétention hydrique. En effet, toutes les trois fractions granulométriques sont d’une manière générale représentées. Ce qui leur confère de bonnes potentialités agronomiques surtout pour la production du mil, de l’arachide et certaines cultures maraîchères. Ce constat a été attesté par les travaux de Guindo et al. (2024) qui montre une bonne fertilisation de ce type de sol. En se référant aux normes de PNUD/FAO, l’analyse du Tableau 2 permet de noter que les sols des sites de Diack et de Ngoundiane présentent un pH potentiellement peu acide ou neutre (Mizouri et al., 1995). La

zone de Ngoundiane présente de meilleures caractéristiques chimiques en raison de son pH relativement neutre ou peu acide en amont et en aval et qui est bien adapté à la plupart des cultures vivrières. Dans la zone de Rufisque, les sols analysés sont considérés peu alcalins tandis que les sols de Darou Karim analysés sont alcalins et ont un pH compris entre 8,5 et 9,4. Cela suggère une importante teneur en carbonate d'après les travaux d'Aziablé et al. (2016). Le caractère alcalin ou peu alcalin des sols des sites de Rufisque constitue l'un des principaux facteurs limitant de la production agricole dans la zone de Rufisque. Il est beaucoup plus manifeste dans le site de Darou Karim où le pH est environ égal à 8,8. Dans la plupart des sites d'étude, la salinité des sols n'a pas atteint un seuil de nuisibilité aux cultures. La conductivité électrique des sols dans la zone de Ngoundiane est très faible selon l'échelle de Durand (Durand et al., 2005). Elle est évaluée en moyenne à 18,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans le site de Diack et 10 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans le site de Ngoundiane. Dans la zone Rufisque, la conductivité électrique des sols est relativement faible et est évaluée en moyenne à 111,17 $\mu\text{s}/\text{cm}$ traduisant des eaux non salines sauf dans le topo séquence P2 en amont et en aval où la moyenne est évaluée à 1285 $\mu\text{s}/\text{cm}$ traduisant ainsi un important taux de salinité. A l'aide d'études réalisées par Aziablé et al. (2016), il a ainsi pu être démontré un taux peu important en sels solubles dans ces types de sol qui, par conséquent, sont moins riches en sels minéraux. L'analyse du degré de salinité des sols a été basée sur l'interprétation de leur conductivité électrique (CE). Dans la zone du quartier Darou Karim, nous avons des sols plus minéralisés. Ce résultat témoigne d'une influence directe de la pollution de l'usine sur la conductivité qui peut donc avoir des effets négatifs sur la santé humaine.

L'analyse des deux tableaux montre que la teneur en carbone est plus importante dans la zone de Rufisque. Sa moyenne est de 0,81 à Rufisque alors que dans la zone de Ngoundiane, la teneur est moins importante et sa moyenne est de 0,47. La relative richesse en matière organique de la zone de Ngoundiane se justifie, en partie, par le fait que la plupart des cultivateurs procèdent à l'épandage de fumier

organique et à l'enfouissement des résidus agricoles pendant le labour du sol (Kouyaté et al., 2024). Ces pratiques culturales visent à maintenir le niveau de fertilité des sols. Les sites de Darou Karim et de Diorga Chérif présentent la plus importante teneur en MO respectivement évaluée en moyenne à 1,73 et 0,57%. Par ailleurs, la richesse en MO de la zone de Rufisque aurait influencé positivement l'augmentation du pH de ces sols. Celui-ci est relativement alcalin sur tout le topo séquence de la zone. Ceci s'explique par le fait que les sols basiques sont plus riches en cations disponibles pour les cultures, comparés à ceux acides. Pour ce qui est de la présence de l'azote, nos résultats ont montré un faible taux. Ainsi, ces zones sont considérées très pauvres en azote quel que soit le niveau du topo séquence. Cependant, le rapport C/N en moyenne est inférieur à 15 dans toutes les zones. En accord avec les travaux d'Akanza et al. (2017), les valeurs de ces rapports C/N sont considérées satisfaisantes selon la norme PNUD/FAO (Mizouri et al., 1995), démontrant ainsi une intense activité biologique dans ces sols, un bon processus de minéralisation de la MO et par conséquent, une bonne libéralisation de la quantité d'azote dans le sol. Ce qui traduit que la concentration en azote des sols est fortement dépendant de leur richesse en MO et de leurs activités biologiques. Ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle l'azote nécessaire à la croissance des cultures relève de la biodégradation de la MO du sol.

A la différence du carbone, de l'azote et de l'oxygène, le phosphore n'est pas présent en grande quantité dans l'atmosphère. Mais, il est abondant dans les roches volcaniques et sédimentaires. Malgré les faibles valeurs obtenues dans les deux sites, on peut remarquer dans les deux sites, une présence plus significative dans les zones éloignées des activités industrielles due probablement à l'utilisation excessive des engrais de cette zone. Ce résultat est en accord avec l'étude d'Akanza et al. (2017), qui ont rapporté que les fumiers induisent un enrichissement du phosphore dont l'accumulation peut affecter les sols et végétaux.

Les résultats concernant les mesures de Ca, Mg et K à Ngoundiane ont montré que toutes leurs valeurs sont faibles. D'après nos résultats, ces éléments sont plus présents dans la zone plus proche de l'usine. En se référant aux normes de Doucet (Doucet et al., 2006), les valeurs obtenues indiquent la présence moyenne des bases échangeables. Ce résultat pourrait s'expliquer par la présence abondante de ces éléments dans le basalte.

Nos résultats sont en accord avec ceux d'Aziablé et al. (2016) qui ont montré la présence de fortes teneurs de certains métaux dans les sols aux alentours de l'usine de traitement du phosphate

Dans les échantillons analysés de Rufisque, à proximité d'une usine, l'utilisation de grandes quantités de calcaires et autres produits semble impacter les caractéristiques du sol. Ainsi, on note des teneurs en Ca, Mg et K plus élevées dans cette zone, ce qui semble prouver la pollution industrielle sur ces sols. Malgré ce constat, le rapport Ca/Mg compris généralement entre 2 et 9 se trouve dans la gamme optimale pour les deux sites d'après les travaux de Doucet et al. (2006).

L'analyse de la teneur en sodium montre de manière générale que les zones de Ngoundiane et de Rufisque ne sont pas sodiques, car elle reste inférieure à 1 meq/100 g. Ceci est conforté par le pourcentage de sodium échangeable (PSE) qui, dans toutes les zones, est inférieur à 15% (Doucet et al., 2006). Dans la commune de Ngoundiane, aussi bien dans les échantillons prélevés à proximité ou loin de l'usine, la valeur moyenne de la capacité échange cationique (CEC) des sols dans cette zone est considérée petite (6,6) suggérant une fertilité moyenne selon la norme. Dans toute la zone de Rufisque, la valeur de la CEC est considérée moyenne (9,3 meq/100 g), ce qui semble indiquer une fertilité du sol élevée d'après la norme de Doucet et al., (2006).

Conclusion

Notre étude met en évidence l'impact de la pollution industrielle sur les sols aux alentours des usines. En effet, ces sols renferment des teneurs plus élevées en calcium,

sodium, magnésium et potassium caractéristiques de l'activité industrielle. Ainsi, la présence significative de certains éléments dans les sols de la commune de Ngoundiane s'explique par l'exploitation du basalte qui constitue la roche-mère au niveau de l'aquifère. Au niveau de Rufisque, les activités industrielles menées près de Darou Karim participent à la dégradation du sol en augmentant la teneur de ces éléments. La présence significative de ces derniers est à mettre en relation avec l'augmentation de la conductivité. Cette étude a permis de mettre en évidence une corrélation entre la matière organique et le pH. Pour les zones éloignées des activités industrielles, la pratique de la fertilisation consistant en l'épandage de fumier dans les champs et l'enfouissement des résidus des cultures confère à ces sols une relative richesse en phosphore, par conséquent, en élément nutritifs disponibles pour les cultures. Cette étude a permis d'identifier les principaux facteurs d'influence de la dégradation des sols dans ces deux zones. Par conséquent, elle permet à l'avenir d'optimiser l'utilisation des sols en maximisant la productivité agricole tout en minimisant les impacts environnementaux négatifs au niveau de Rufisque, les activités industrielles menées près de Darou Karim participent à la dégradation.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

GD, AD, BY et MF ont participé à l'échantillonnage et à la réalisation des analyses. L'encadrement de l'équipe de recherches est assuré par AKDD qui a élaboré le sujet et supervisé le travail. Tous les auteurs ont participé à l'interprétation des résultats ainsi qu'à la rédaction et à la correction du présent manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les responsables de l'Institut National de Pédologie de Dakar pour leur assistance lors de certaines analyses.

REFERENCES

- Akanza P, Sanogo S. 2017. Effets des fumures sur la fertilité, les composantes de rendement et diagnostic des carences du sol sous culture de riz sur les ferralsols en Côte d'Ivoire. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, **043**: 1- 10.
- Aziablé E, Bodjona MB, Tchéguéni S, Kili KA, Tchangbédji G, Meray ME. 2016. Extraction simple de métaux lourds des sols aux alentours de l'usine de traitement de phosphate de Kpémé. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, **041**: 28-34.
- Bouchand P, Roger-Estrade J, Capowiez Y, Richard G, Boizard H. 2009. Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, **41**: 711–717. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.01.006>.
- Bottinelli N, Jouquet P, Capowiez Y, Podwojewski P, Grimaldi M, Peng X. 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil and Tillage Research*, **146**: 118–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007>.
- Bouajila K, Jeddi FB, Sanaa M. 2014. Effet de la décomposition des résidus de sulla (*Hedysarum coronarium* L.) sur l'évolution des caractéristiques chimiques de deux types de sol en climat aride Tunisien. *Journal of Materials and Environmental Science*, **5** (3): 723-730.
- Boye, MB, Dimé AKD, Diop A, Kane C, Fall M. 2023. Process Optimization and Modeling by Response Surface Methodology of Nitrite Electro-Reduction by Ti/RuO₂ + IrO₂ Electrode. *American Journal of Analytical Chemistry*, **14**: 531-540. DOI: 10.4236/ajac.2023.1412031.
- Colombi T, Braun S, Keller T, Walter A. 2017. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. *Science of the Total Environment*, **574**: 1283–1293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.194>.
- Dimé AKD, Diouf G, Sarr MM, Fall M. 2020. Caractérisation physico-chimique de la nappe phréatique située dans une zone à forte pollution industrielle : Cas de la commune de Rufisque. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, **35**: 163-174.
- Dimé AKD, Diouf G, Dramé ET, Fall M. 2018. Caractérisation physico-chimique de la nappe phréatique située dans une zone à forte pollution industrielle : Cas de la commune de Ngoundiane. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, **046**: 23-28.
- Diouf G, Dimé AKD, Boye MB, Baldé I, Kane C et Fall M. 2022. Optimisation des paramètres influençant le rendement de la dénitrification électrochimique de l'eau par l'électrode de Ti/RuO₂+ IrO₂. *Afrique Science*, **20**(4): 1-10.
- Doucet R. 2006. Le climat et les sols agricoles, ed. Berger, Eastman, Québec. **15**.
- Durand F. 2005. A propos de la géographie de l'eau : temporalités et échelles spatiales. *L'Information Géographique*, **69**: 69-84.
- Feller C, Aeschlimann JP, Frossard E, Fallou FA. 2019. Chapitre 8 « Stratification du sol ». *Etude et Gestion des Sols*, **26**: 9-19.
- Guindo M, Doumbia S, Kone Y, Bado BV, Mohomodou A et Niangaly A. 2024. Effet à long terme de la fertilisation organo-minérale sur la fertilité du sol et le rendement du riz en monoculture de bas-fond au Mali. *Afrique Science*, **24**(1): 71-82.
- Graham SA, Craft CB, McCormick PV, Aldous A. 2005. Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands-upper Klamath Lake. *Oregon, USA Wetlands*, **25**: 594 - 606. DOI: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0594:FAAOSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0594:FAAOSP]2.0.CO;2).
- Hafizur Rahman S, Khanam D, Mehedi Adyel T, Shahidul Islam M, Aminul Ahsan M, Akbor A. 2012. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil

- around Dhaka export processing zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. *Applied Sciences*, **2**: 584–601. DOI: <https://doi.org/10.3390/app2030584>.
- Issola Y, Kouassi AM, Dongui BK, Adingra AA, Biemi J. 2009. Concentration en métaux lourds des sédiments d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, **18**: 1009-1018.
- Jarvis N, Koestel J, Larsbo M. 2016. Understanding preferential flow in the vadose zone: Recent advances and future prospects from pore to catchment scales. *Vadose Zone Journal*, **15** (12): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.2136/vzj2016.09.0075>.
- Kpan WH, Bongoua-Devisme AJ, Kone B, Bahan FML, Kouadio K-KH, Adou KP et Koko AKL. 2023. Effets combinés de la roche phosphatée et des fertilisants chimiques sur les paramètres agronomiques du riz pluvial dans trois zones agroécologiques de la Côte D'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **17**(7): 2984-2997. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.2>.
- Kouakou SAAE, Bongoua-Devisme AJ, Kouadio K-KH, Gouze ADB, Bahan FML. 2024. Effets combinés de la roche phosphatée du Maroc et de fertilisants chimiques sur la dynamique du phosphore dans le sol: cas des parcelles rizicoles de Man, Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, **24**(1): 1 – 13.
- Kouyaté AB, Koné S, Dembélé SG et Famanta M. 2023. Effets de différentes doses d'engrais inorganiques sur le rendement et la performance économique du cotonnier. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **17**(7): 2971-2983. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.2>.
- Kroener E, Zarebanadkouki M, Kaestner A, Carminati A. 2014. Nonequilibrium water dynamics in the rhizosphere: How mucilage affects water flow in soils. *Water Resources Research*, **50** (8): 6479–6495. DOI: <https://doi.org/10.1002/2013WR014756>.
- Mizouri M, Aouina M, Khalidi R, Laribi M. 1995. Guide de conservation des eaux et du sol. *PNUD-FAO Projet TUN86/020*, **273**.
- Nelson DW. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, **5**: 961–1010. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>.
- Sahrawat KL, Jones M, Diatta S, Adam A. 2001. Response of Upland Rice to fertilizer Phosphorus and its Residual Value in an Ultisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **32** (15 - 16): 2457 - 2468. DOI: 10.1081/CSS-120000384.
- Tyano A, Hien M Et Yelemou B. 2022. Impacts des arbustes au champ sur la fertilité du sol, la croissance et le rendement du sorgho. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **16**(6): 2740-2755. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.2>.
- Yao Marcelline, Camara Brahim, Cherif Mamadou, Ouattara Généfol, Bomisso Lezin Edson, Sorho Fatogoma, Yocoli Eugène, Kone Daouda Et Dick Emmanuel Acka. 2020. Effets du lit, de la densité de plantation et de la fertilisation sur la croissance végétative de l'ananas (*Ananas comosus* L., var. MD2) à différentes saisons de planting dans la zone de Bonoua en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **14**(7): 2398-2414. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i7.3>.
- Zongo I, Leclerc J-P, Maiga HA, Wethe J, Lapique F. 2009. Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: a comprehensive comparison of aluminium and iron electrodes. *Separation and Purification Technology*, **66** (1): 159-166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.11.012>.