

Dégradation des Terres Agricoles par Salinisation dans la Vallée Fossile du Sine : Cas de la Commune de Niakhar (Région de Fatick)

Sene François Ngor
Fall Aïdara C. A. Lamine
Sane Yancouba

Université Assane SECK de Ziguinchor, Département de Géographie, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Ziguinchor, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n35p142](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n35p142)

Submitted: 28 August 2024
Accepted: 12 December 2024
Published: 31 December 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Sene F.N., Fall A.C.A.L. & Sane Y. (2024). *Dégradation des Terres Agricoles par Salinisation dans la Vallée Fossile du Sine : Cas de la Commune de Niakhar (Région de Fatick)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (35), 142.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n35p142>

Résumé

La salinisation des terres, phénomène mondial qui affecte particulièrement les zones sous influence fluviomarine, constitue une contrainte majeure pour l'agriculture. Cette étude vise à comprendre le processus de dégradation des terres agricoles par salinisation dans la vallée fossile du Sine, notamment dans la commune de Niakhar, région de Fatick. En combinant l'analyse de la conductivité électrique des sols, la cartographie basée sur des indices de télédétection (NDSI, SI, BI et ISN issus des images Landsat 7 et 8) et des enquêtes socioéconomiques, les résultats montrent que la salinisation est principalement provoquée par la remontée capillaire et l'intrusion des eaux salées du bras de mer du Sine Saloum. Entre 2000 et 2021, la superficie des terres salées a augmenté de 42,56 %, tandis que la végétation et les zones cultures ont respectivement diminué de 49,79 % et 2,39 %. La salinité des sols varie significativement selon les types de tannes (nus, herbacés et arbustifs). Ces résultats soulignent la nécessité de stratégies de gestion durable des terres pour limiter l'impact de la salinisation, préserver les écosystèmes agricoles et soutenir l'élaboration de politiques adaptées aux zones vulnérables.

Mots clés : Dégradation des terres agricoles, Salinisation, Vallée fossile du Sine, Village de Sanghaie, Commune de Niakhar

Degradation of Agricultural Land by Salinization in the Fossil Valley of the Sine: The Case of the Commune of Niakhar (Fatick Region)

Sene François Ngor
Fall Aidara C. A. Lamine
Sane Yancouba

Université Assane SECK de Ziguinchor, Département de Géographie,
Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Ziguinchor, Sénégal

Abstract

Land salinization, a global phenomenon particularly affecting areas under river-marine influence, poses a significant challenge to agriculture. This study examines the mechanisms of agricultural land degradation through salinization in the fossil valley of the Sine, specifically within the commune of Niakhar in the Fatick region. By integrating soil electrical conductivity analysis, mapping based on remote sensing indices (NDSI, SI, BI, and ISN derived from Landsat 7 and 8 imagery), and socioeconomic surveys, our results reveal that salinization is primarily caused by capillary rise and the intrusion of saline water from the Sine Saloum estuary. Between 2000 and 2021, saline land areas increased by 42,56%, while vegetation cover and cultivated areas decreased by 49,79% and 2,39%, respectively. Significant variability in soil salinity was observed across different types of tannes (bare, herbaceous, and shrubby). These results highlight the pressing need for sustainable land management strategies to mitigate salinization, safeguard agricultural ecosystems, and inform policy frameworks in vulnerable regions.

Keywords: Agricultural land degradation, Salinization, Fossil valley of the Sine, Sanghaie village, Niakhar commune

Introduction

La dégradation des terres agricoles est un phénomène mondial qui menace la disponibilité de terres arables. Selon la FAO, «*la dégradation des terres affecte près de 2 milliards d'hectares de terres dans le monde et concerne près d'un milliard et demi de personnes* ». Une bonne partie de cette dégradation des terres est liée à l'érosion, soit 24 milliards de terres arables perdues chaque année (FAO, 2024). A côté de l'érosion (hydrique et éolienne),

la salinisation constitue aussi un facteur majeur de dégradation des terres agricoles dans le monde. Selon Cheik (2021), « *environ 1 milliard d'hectares de sols dans le monde sont touchés par la salinisation, ce qui représente autour de 7 % de la surface terrestre de la planète* ». Ainsi, éradiquer la salinisation des terres agricoles constitue un défi majeur pour le développement agricole et pour la sécurité alimentaire dans des pays du Sud où le secteur primaire est prédominant.

Le Sénégal, à l'instar des autres pays du monde, n'est pas épargné par ce phénomène de salinisation des terres agricoles. D'après les études effectuées par l'organisation Humundi en janvier 2024, « *les terres salées sont passées de 4.97% en 1986 à 5.97% en 2020 (18172.94 ha) au Sénégal* ». Cela montre l'ampleur du phénomène dans ce pays et en fait une problématique cruciale du secteur agricole très vulnérable aux changements climatiques.

La zone du bassin arachidier, dont l'ensemble des vallées fossiles, marigots et bas-fonds sont généralement rattachés directement ou indirectement au bras de mer du Sine Saloum, est souvent sous l'influence de la remontée des eaux liée à l'élévation du niveau de la mer. C'est pourquoi, aujourd'hui, certaines de ces vallées, comme la vallée fossile du Sine, sont dégradées du fait de l'intrusion saline et de la remontée capillaire. C'est la raison pour laquelle de nombreuses activités agricoles telles que le maraichage, l'arboriculture et même l'agriculture céréalière souffrent de cette salinisation des terres (Sène, 2022).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude dont l'objectif est de « comprendre le processus de dégradation des terres agricoles par salinisation dans la vallée fossile du Sine ». Il s'agit d'une manière plus détaillée d'analyser le processus de salinisation des terres et ses causes.

Données et méthodes

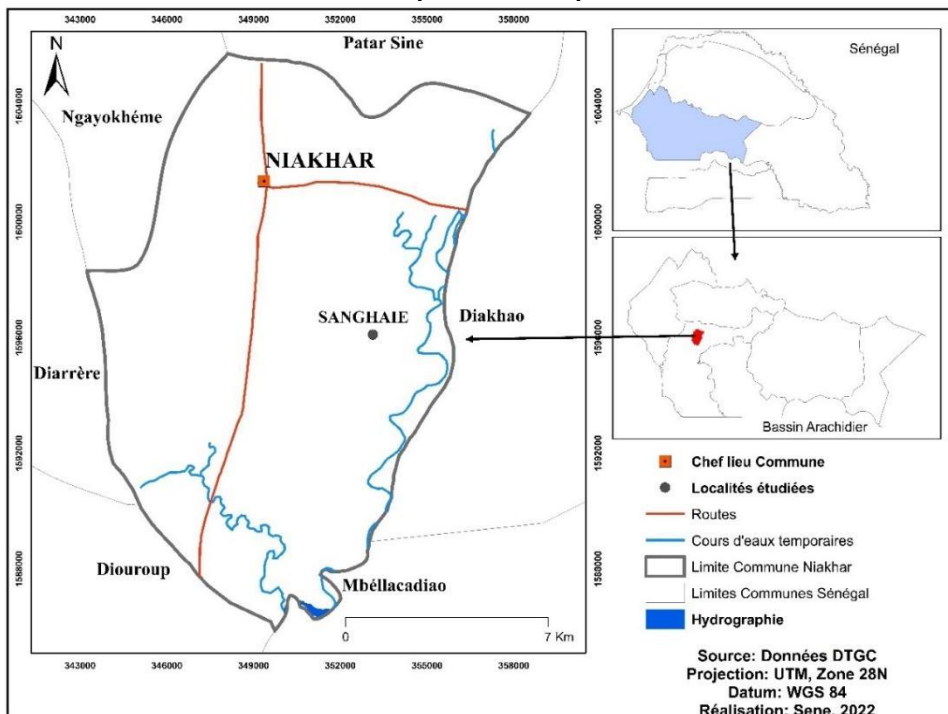
La démarche méthodologique adoptée dans cette étude s'articule autour de trois axes principaux, dont la présentation du site de l'étude, les données et les méthodes.

Caractéristiques de la zone d'étude

La commune de Niakhar fait partie de la zone écogéographique du bassin arachidier du Sénégal. Elle est située administrativement dans l'arrondissement du même nom, dans la région de Fatick. La commune de Niakhar couvre une superficie de 186 km² et a pour coordonnées géographiques 14° 29' de latitude Nord, 16° 24' de longitude Ouest et 6 m d'altitude (PDC, 2018). Elle est limitée à l'Est par la commune de Diakhao ; à l'Ouest par l'arrondissement de Tattaguine ; au Nord par les communes de Patar Sine et Ngayokhème et au Sud par la commune de Fatick.

Cette zone, à l'image du bassin arachidier (BA), renferme des caractéristiques physiques et humaines déterminantes dans la vie socioéconomique et environnementale des populations (Mbaye, 2005 ; Delaunay, 2017 et Delaunay, 2018)

Du point de vue physique, la zone est caractérisée par un relief essentiellement plat en dépit de l'existence de quelques parties dépressionnaires au Sud et à l'Est de la commune constituées de bas-fonds et de vallées parmi lesquelles on peut citer la vallée fossile du Sine qui traverse la commune du Nord au Sud (Tine, 2013 et PDC, 2018), une diversité pédologique avec une prédominance de sols ferrugineux tropicaux, une faiblesse des ressources hydriques et végétales. La commune de Niakhar est située entre les isohyètes 500 et 600 mm avec une moyenne pluviométrique qui avoisine les 567,95 mm sur la période comprise entre 1981 et 2021.



Carte 1 : Localisation de la commune de Niakhar

Données

L'approche méthodologique utilisée dans cette étude est basée essentiellement sur la collecte, le traitement et l'analyse de données. La collecte de données est effectuée à travers des enquêtes socio-économiques, des entretiens, des prélèvements d'échantillons de sol accompagnés d'un levé de points GPS et de la télédétection. Les travaux de terrain tels que les enquêtes, les entretiens et les prélèvements d'échantillons de sol ont été menés

dans le village de Sanghaie (commune de Niakhar) qui est l'un des villages qui se situe à hauteur de la vallée fossile du Sine.

Enquêtes socioéconomiques

Concernant les enquêtes socioéconomiques, un sondage a été réalisé auprès des chefs de ménages du village de Sanghaie en utilisant un échantillonnage aléatoire simple. L'enquête a été réalisée auprès de 100 chefs de ménage sur les 180 ménages qui composent le village, ce qui représente un taux de représentativité de 56 %. La taille de l'échantillon a été calculée à travers formule suivante de Réa et Parker, 1997.

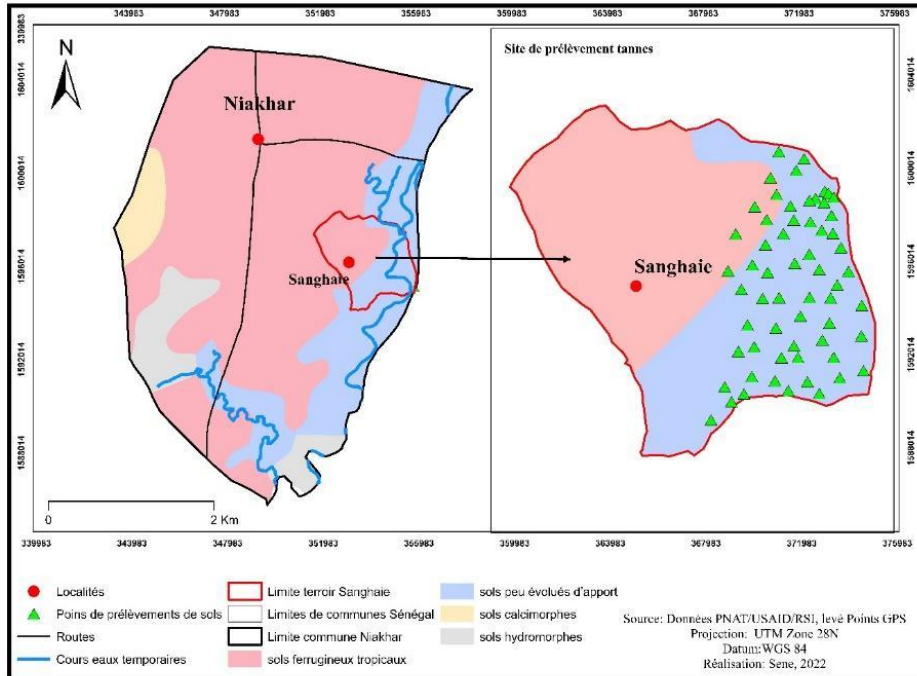
Ces enquêtes ont été complétées par des entretiens semi-directifs. Pour cela, un guide d'entretien a été soumis au chef du village, à l'agent de l'ANCAR et au chef de service des Eaux, forêts, chasse et conservation des sols de l'arrondissement de Niakhar. Ce travail d'enquêtes et d'entretiens nous a permis de recueillir les perceptions des populations sur le processus de dégradation des terres agricoles par la salinisation dans la zone d'étude.

Prélèvement d'échantillons de sol

Dans le but de vérifier les perceptions des populations et la cartographie par images satellitaires, nous avons effectué des analyses de sol. Pour cela, un prélèvement d'échantillons de sol a été fait au niveau des terres salées qui sont classées en trois catégories par Faye *et al.* (2019) : les tannes nus (sol extrêmement salé qui se particularise par une absence totale de végétation à cause de la concentration excessive en sel), les tannes herbacés (sol très salé couvert d'une végétation herbacée) et les tannes arbustifs (sol salé qui se caractérise par une présence d'arbustes comme *Combretum glutinosum*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*, etc.)



A **B** **C**
Photo 1 : tanne arbustif (A), tanne herbacé (B) et tanne nu (C) (source : cliché Sène, janvier 2023)



Carte 2 : Sites de prélèvements des échantillons de sols

Pour ce faire, nous avons prélevé des échantillons de sol dans 20 profils de 50 cm de profondeur, d’une manière aléatoire, sur les différentes zones choisies ci-dessus (photo 1) en se référant à Reid (2006). Dans chaque profil, 2 échantillons de sol sont prélevés à deux niveaux de profondeur différents : 0 – 25 cm et 25 – 50 cm (Fall *et al.*, 2021). Ce qui fait qu’à chacune de ces profondeurs, on a prélevé 20 carottes de terre qu’on a séchées et mixées pour obtenir un mélange homogène d’où on a tiré un sous-échantillon de 400 g. Ainsi, on se retrouve au final avec un total de 6 sous-échantillons de 400 g à analyser au laboratoire. Nous avons choisi ces deux profondeurs 0 – 25 cm et 25 – 50 cm et différents sites de prélèvements pour connaître la variation verticale et latérale de la salinité des sols dans la zone d’étude.

Tableau 1: Protocole de prélèvement d’échantillons de sols

Catégories de terres salées	Nombres de profils de 50 cm	Nombre d’échantillons de sols prélevés		Nombre de sous échantillons de 400g	
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm
Tannes nus	20	20	20	1	1
Tannes herbacés	20	20	20	1	1
Tannes arbustifs	20	20	20	1	1
Totale	60	120		6	

L’analyse des sols est réalisée sur 6 échantillons. Pour ce qui est du matériel, nous avons utilisé : des sachets en plastique neufs pour conserver les

échantillons, des seaux en plastique bien nettoyés et séchés pour le mélange des carottes de sols avant prélèvement du sous-échantillon, une pelle pour creuser, une truelle pour prélever et mélanger les carottes de sols avant de prendre le sous-échantillon, un mètre en ruban pour mesurer la profondeur du profil et un GPS (Global Positioning System) pour prélever des points GPS pour les éventuelles vérifications sur le terrain.

- I. TABLEAU 1. Appréciation du pH et de la salinité (Bocoum, 2004)
- II. pH Conductivité Electrique (CE)
- III. Gammes de pH Sol Conductivité Electrique (îS/cm) Sol
- IV. < 4,5 Extrêmement acide < 250 Non salin
- V. 4,6 - 5,2 Très acide 250 – 500 Légèrement salin
- VI. 5,3 - 5,5 Acide 500 – 1000 Salin
- VII. 5,6 – 6,0 Modérément acide 1000 – 2000 Très salin
- VIII. 6,1 – 6,6 Légèrement acide > 2000 Extrêmement salin
- IX. 6,7 – 7,2 Neutre
- X. 7,3 – 7,9 Légèrement alcalin
- XI. 8,0 – 8,5 Alcalin
- XII. > 8,6 Très alcali
- XIII. TABLEAU 1. Appréciation du pH et de la salinité (Bocoum, 2004)
- XIV. pH Conductivité Electrique (CE)
- XV. Gammes de pH Sol Conductivité Electrique (îS/cm) Sol
- XVI. < 4,5 Extrêmement acide < 250 Non salin
- XVII. 4,6 - 5,2 Très acide 250 – 500 Légèrement salin
- XVIII. 5,3 - 5,5 Acide 500 – 1000 Salin
- XIX. 5,6 – 6,0 Modérément acide 1000 – 2000 Très salin
- XX. 6,1 – 6,6 Légèrement acide > 2000 Extrêmement salin
- XXI. 6,7 – 7,2 Neutre
- XXII. 7,3 – 7,9 Légèrement alcalin
- XXIII. 8,0 – 8,5 Alcalin
- XXIV. > 8,6 Très alcal

Données cartographiques

La télédétection est un outil très utilisé dans la cartographie des terres salinisées. C'est pourquoi, dans ce travail, nous avons combiné la télédétection aux travaux de terrain pour montrer l'évolution spatio-temporelle des terres salées dans la zone d'étude. Pour ce faire, nous avons utilisé des images satellitaires de Landsat 7 (2000), Landsat 8 (2021), un modèle numérique de terrain de 2000 de la mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) et des images Google Earth de 2021. Nous avons choisi ces deux dates (2000 et 2021) pour montrer l'évolution de l'occupation des sols dans la zone sur une

période d'environ 20 ans. Le choix de ces dates plutôt récentes est motivé par les résultats de l'enquête socioéconomique avec la perception des populations qui révèle une régression des terres agricoles au profit des tannes durant ces dernières années.

Tableau 2: Caractéristiques des images utilisées

Années	Types d'image	Résolutions	Capteurs
2000	Landsat 7	30 m	ETM+
2021	Landsat 8 et Google Earth	30 m et 10 m	OLI/TIRS
2000	SRTM	30 m	RADAR

Outre ces données acquises directement sur le terrain (données primaires), nous avons aussi utilisé les données climatiques du Service régional de la météorologie de Fatick de 1981 à 2021 pour la pluviométrie et de 1990 à 2021 pour les températures.

Méthodes

Traitement des données d'enquêtes

Le traitement suivi dans ce travail consiste au dépouillement automatique des données obtenues des enquêtes socioéconomiques. Après cette phase de dépouillement, nous avons exporté les données sous format Excel afin de procéder aux calculs des statistiques descriptives univariées pour obtenir les fréquences relatives des différentes variables étudiées. En plus, nous avons calculé la moyenne comme paramètre de position afin de résumer les informations.

Traitement des données de sol (Conductivité électrique, CE)

Les échantillons de sols prélevés sur le terrain ont été acheminés au laboratoire d'analyse de l'eau de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ). Les analyses ont porté sur la CE du sol. Après l'analyse, les données obtenues ont été traitées en se basant sur le tableau d'appréciation de la salinité d'un sol à partir de sa conductivité électrique de Bocoum (2004).

XXV. TABLEAU 1. Appréciation du pH et de la salinité (Bocoum, 2004)

XXVI. pH Conductivité Electrique (CE)

XXVII. Gammes de pH Sol Conductivité Electrique (iS/cm) Sol

XXVIII. < 4,5 Extrêmement acide < 250 Non salin

XXIX. 4,6 - 5,2 Très acide 250 – 500 Légèrement salin

XXX. 5,3 - 5,5 Acide 500 – 1000 Salin

XXXI. 5,6 – 6,0 Modérément acide 1000 – 2000 Très salin

XXXII. 6,1 – 6,6 Légèrement acide > 2000 Extrêmement salin

XXXIII. 6,7 – 7,2 Neutre

XXXIV. 7,3 – 7,9 Légèrement alcalin

XXXV. 8,0 – 8,5 Alcalin

- XXXVI. > 8,6 Très alcali
XXXVII. TABLEAU 1. Appréciation du pH et de la salinité (Bocoum, 2004)
XXXVIII. Ph Conductivité Electrique (CE)
XXXIX. Gammes de pH Sol Conductivité Electrique (iS/cm) Sol
XL. < 4,5 Extrêmement acide < 250 Non salin
XLI. 4,6 - 5,2 Très acide 250 – 500 Légèrement salin
XLII. 5,3 - 5,5 Acide 500 – 1000 Salin
XLIII. 5,6 – 6,0 Modérément acide 1000 – 2000 Très salin
XLIV. 6,1 – 6,6 Légèrement acide > 2000 Extrêmement salin
XLV. 6,7 – 7,2 Neutre
XLVI. 7,3 – 7,9 Légèrement alcalin
XLVII. 8,0 – 8,5 Alcalin
XLVIII. > 8,6 Très alcal

Tableau 3 : Appréciation de la salinité (Bocoum, 2004)

Conductivité Electrique (µS/cm)	Sol
< 250	Non salin
250 – 500	Légèrement salin
500 – 1000	Salin
1000 – 2000	Très salin
> 2000	Extrêmement salin

Traitement des données cartographiques

Avant d'analyser la salinité des sols à l'aide d'images satellitaires et de Google Earth, il est crucial d'effectuer des prétraitements et des traitements. Nous avons d'abord appliqué des corrections radiométriques et atmosphériques dans Qgis pour éliminer les erreurs liées à l'éclairage, aux bruits instrumentaux et aux effets atmosphériques. Ensuite, nous avons ouvert les bandes corrigées dans Qgis pour calculer les différents indices de salinité. La cartographie de la salinité des sols par télédétection requiert l'utilisation de canaux spectraux sensibles à la présence du sel dans le sol. Pour ce faire, nous avons choisi la bande rouge et la bande proche infrarouge des différentes images satellitaires pour le calcul des indices tels que l'Indice de Salinité par Différence Normalisée (NDSI), l'Indice de Salinité (SI) et l'Indice de Brillance (BI) (Sadiki *et al.* 2016). Ce qui nous a permis de faire différentes combinaisons de ces deux bandes à travers les formules suivantes.

NDSI : $(\text{Bande Red} - \text{Bande NIR}) / (\text{Bande Red} + \text{Bande NIR})$ (Rajendran, *et al.*, 2021)

SI : $\text{Bande Red} / \text{Bande NIR}$ (Kumar *et al.*, 2013)

BI : $(\sqrt{(\text{Bande Red})^2 + (\text{Bande NIR})^2})$. (Kumar *et al.*, 2013)

Après avoir calculé ces différents indices, nous avons considéré que tous les trois indices ont le même poids dans le calcul final dans la mesure où chacun d'eux est jugé sensible et pertinent pour l'identification des surfaces salinisées dans la zone. De ce fait, nous avons attribué le même poids, soit 1/3 à chacun des indices, pour ressortir l'Indice de Salinité Net (ISN). La combinaison des trois indices de salinité dont NDSI, SI, et BI est faite suivant la formule :

$$\text{ISN} : 1/3 * \text{NDSI} + 1/3 * \text{SI} + 1/3 * \text{BI}.$$

La combinaison des bandes et des indices a été effectuée par le « Raster Calculator » du menu Raster de Qgis.

Après ce calcul de l'indice de salinité net, nous avons appliqué une classification non supervisée avec l'algorithme K-means sur l'image ISN obtenue et le résultat de la classification nous a permis de faire la cartographie diachronique de la salinité du sol de la zone.

Le traitement des images Google Earth s'est déroulé sur quatre phases, à savoir le géoréférencement, la photo-interprétation, la classification et la validation.

- Le géoréférencement

Cette étape est une forme de correction géométrique des images Google Earth. Pour effectuer cette correction, le procédé consiste à ouvrir l'image dans l'interface Qgis et Google Earth Pro. Ensuite, à l'aide de l'extension (georeferencing) de ArcGIS, nous avons choisi 4 points de calages sur l'image et sur Google Earth, puis nous avons repéré les mêmes points à l'aide de l'outil (Repère), ce qui nous a permis de remplacer les coordonnées des points de calages choisis sur Qgis par celles des points repères de Google Earth Pro.

Pour s'assurer d'une bonne correction géométrique, nous avons utilisé un RMS Error compris entre 0 et 1. Après cette étape, l'image est représentée dans le même système de projection qui est l'UTM, zone 28 N et le Datum WGS 84.

- La photo-interprétation

Ce procédé de traitement des images Google Earth Pro consiste à identifier les différents types d'occupation du sol, autrement dit les différentes surfaces d'objets. Pour ce faire, nous avons visualisé notre zone d'étude sur Google Earth Pro afin de ressortir les différentes classes d'occupation du sol énumérées dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Les différentes classes d'occupation du sol

Surfaces d'objets	Codes
Zone d'habitations	Code 1
Zone de cultures	Code 2
Végétations	Code 3
Terres salées (Tannes)	Code 4

L'identification de ces différentes classes d'occupation est facilitée par notre connaissance de la zone.

- La classification

Après l'identification des surfaces d'objets, nous avons ouvert l'image géoréférencée dans Qgis, et avec l'extension Semi-Automatic Pulging (SCP), nous avons extrait les trois bandes visibles bleu, vert et rouge. Ce qui nous a permis de faire la composition colorée naturelle afin d'effectuer la classification supervisée suivant les différentes surfaces d'objets identifiés précédemment.

- La validation

Cette phase du traitement consiste à descendre sur le terrain pour identifier les différentes surfaces d'objets identifiés et numérisés à travers des observations et des relevés de points GPS. L'ensemble des points GPS a été exporté et affiché sur ArcGIS pour vérifier la conformité des surfaces d'objets classifiés et la réalité sur le terrain.

L'utilisation des images Google Earth nous a été utile pour la cartographie de l'occupation des sols dans notre zone d'étude. Il faut noter que la carte de l'occupation des sols de 2000 a été faite à partir de l'image Landsat 7 et par la classification supervisée. Et pour cela, nous avons utilisé la composition fausse couleur naturelle et la composition colorée naturelle pour bien distinguer d'une part la végétation et d'autre part d'identifier les terres salées.

Résultats

Analyse de la conductivité électrique (CE)

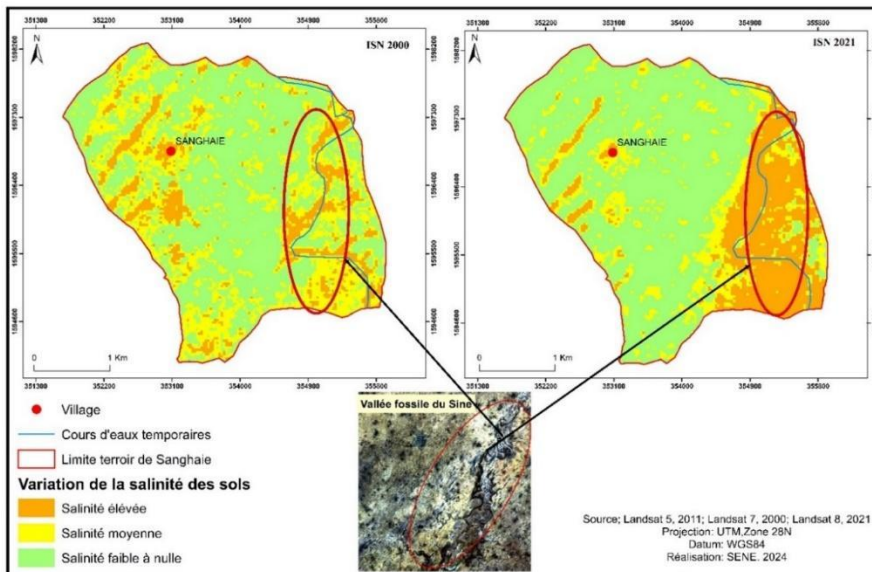
La répartition spatiale de la Salinité des sols varie selon la profondeur et le site de prélèvement. La CE est plus élevée dans les tannes nus que dans les tannes herbacés et les tannes arbustifs. Elle est globalement plus élevée au niveau de l'horizon 0-25 cm dans les tannes, excepté les tannes nus où on note une tendance inverse avec une conductivité plus élevée au niveau de l'horizon 25-50 cm. Par ailleurs, la CE la plus élevée est observée au niveau des tannes nus ; aussi bien pour l'horizon 0-25 cm que pour celui 25-50 cm, avec des valeurs respectives de 1797 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caractérisées par un sol très salin et un sol extrêmement salin (Tableau 6). Dans les tannes herbacés et arbustifs, on note une large différence entre les CE mesurées dans l'horizon 0-25 cm et celles mesurées à l'horizon 25-50 cm (246 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les tannes herbacés et 387 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 1526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les tannes arbustifs), donnant un sol très salin dans les horizons supérieurs et un sol légèrement salin dans les horizons inférieurs des tannes arbustifs et herbacés (tableau 5).

Tableau 5 : Appréciation de la salinité des sols en fonction de la conductivité électrique

Paramètres Sites	Niveau de prélèvement	Conductivité (µs/cm)	Caractéristiques
Tanne herbacé	0-25cm	1484	Sol très salin
	25-50cm	246	Sol légèrement salin
Tanne arbustif	0-25cm	1526	Sol très salin
	25-50cm	387	Sol légèrement salin
Tanne nu	0-25cm	1797	Sol très salin
	25-50cm	2050	Sol extrêmement salin

Evolution spatio-temporel de la salinisation des terres agricoles

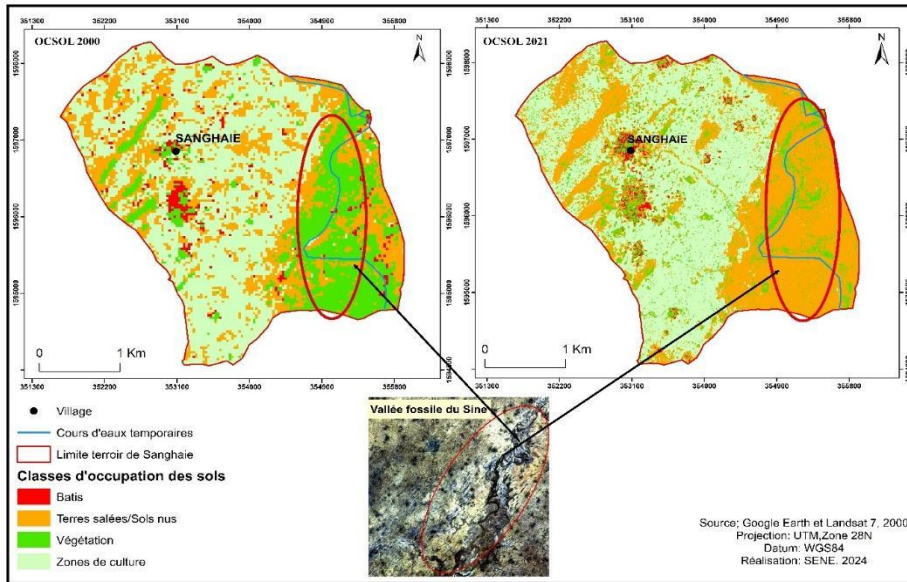
Les résultats cartographiques obtenus montrent une évolution spatiale et temporelle de la salinisation des terres agricoles dans la vallée fossile du Sine. Cette évolution ressortie par l'ISN témoigne d'une progression des surfaces salées entre 2000 et 2021 (carte 3). L'analyse de l'ISN en fonction des données de terrain telles que la CE et l'enquête socioéconomique nous révèle trois niveaux de salinité du sol dans la zone. Nous avons d'abord un niveau de salinité élevé dans les zones qui retiennent l'eau le plus longtemps possible, ensuite un niveau de salinité moyen noté au niveau des zones inondables du fait de l'envahissement des eaux pendant la saison des pluies et enfin un niveau de salinité faible à nul noté dans les zones de culture.



Carte 3: Evolution de la salinité des sols entre 2000 et 2021

Le résultat de la cartographie de salinité (carte 3) montre une augmentation des zones à salinité élevée dans le village de Sanghaïe entre 2000 (140 ha) et 2021 (245 ha). Toutefois, il est à noter que les zones de salinité moyenne sont plus importantes en 2000 (367 ha) qu'en 2021 (194 ha) (carte3). Par ailleurs, les zones à salinité faible à nul ont aussi progressé entre

2000 (637 ha) et 2021 (704 ha). Cette variation spatiale de la salinité a donc impacté l'évolution de l'occupation des sols de la zone entre 2000 et 2021. Ce qui se traduit par une diminution de la surface des zones de culture à faible salinité et de la végétation au profit des surfaces salées inexploitable (carte4).



Carte 4: Evolution de l'occupation des sols entre 2000 et 2021

La carte d'occupation du sol laisse apparaitre une augmentation des terres salées/ sols nus entre 2000 (336 ha) et 2021 (479 ha) (Carte 4). Cette augmentation a provoqué une diminution de la végétation ainsi que des zones de culture sur la même période. L'analyse des statistiques d'occupation des sols montre que la superficie des terres salées et des sols nus a augmenté de 42,5 % entre 2000 et 2021 (figure 1). En revanche, celle des autres classes d'occupation des sols (végétation et des zones de culture) ont diminué entre 2000 et 2021. Toutefois, cette diminution est plus significative pour les surfaces végétales avec une régression de 49,79 %. Pour ce qui est des zones de culture, la diminution est relativement faible (2,39 %) entre 2000 et 2021.

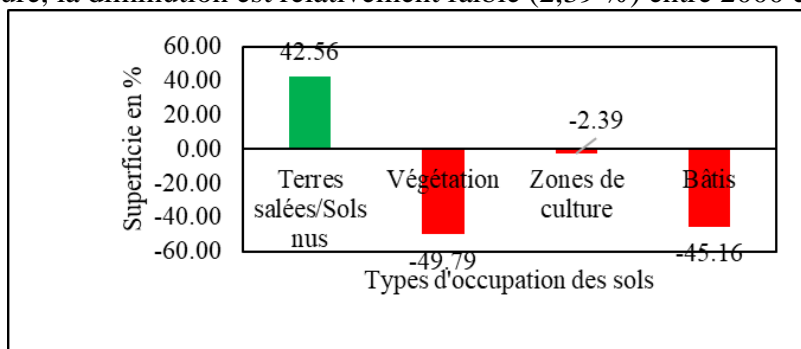


Figure 1 : Statistiques de l'occupation des sols entre 2000 et 2021

L'observation des deux cartes que sont la carte de l'ISN (carte 3) et la carte d'occupation des sols (carte 4), montre une similarité par rapport à leur contenu et aux informations qu'elles véhiculent. Ainsi, les surfaces d'objets identifiés comme les terres salées représentent dans la carte de l'ISN les zones où le niveau de salinité des sols est élevé ou moyen. De même, les zones à salinité faible à nul coïncident aux zones de culture sur la carte de l'occupation des sols de la zone.

Les causes de la salinisation des terres

Selon la perception de la population de Sanghaïe, la salinisation des terres dans la vallée est liée à différents facteurs. C'est ainsi que les résultats de l'enquête révèlent que 51,7% des ménages interrogés pensent que la salinisation des terres dans cette zone est liée à l'invasion marine, 23,3% à la remontée capillaire des eaux de la nappe salée, 1,7% à la sécheresse (Figure 2).

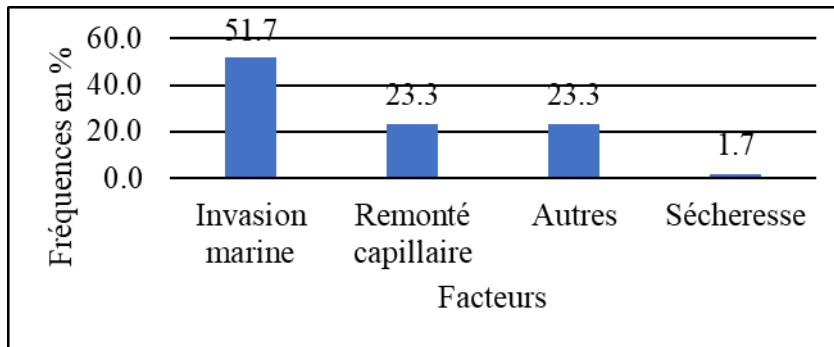
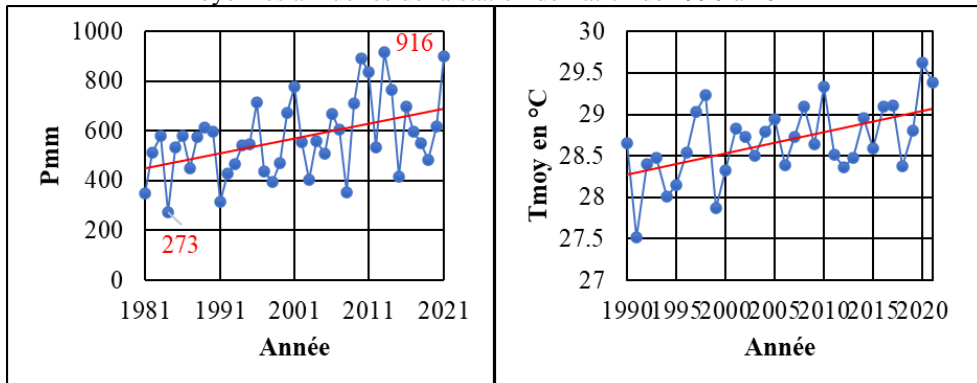


Figure 2 : Perception des chefs de ménages sur les facteurs à l'origine de de la salinisation des terres agricoles (Source : Sène, 2022)

L'analyse de ce graphique (figure 2) montre que l'invasion marine et la remontée capillaire constituent les principaux facteurs de salinisation des terres dans la vallée. Ces deux facteurs sont conditionnés par les conditions climatiques de la zone, le relief et la nature de la nappe. Les conditions climatiques de cette zone sont marquées par une hausse des températures et de la pluviométrie, ce qui accentue les facteurs cités précédemment avec une invasion marine en saison des pluies et une remontée capillaire en saison sèche.

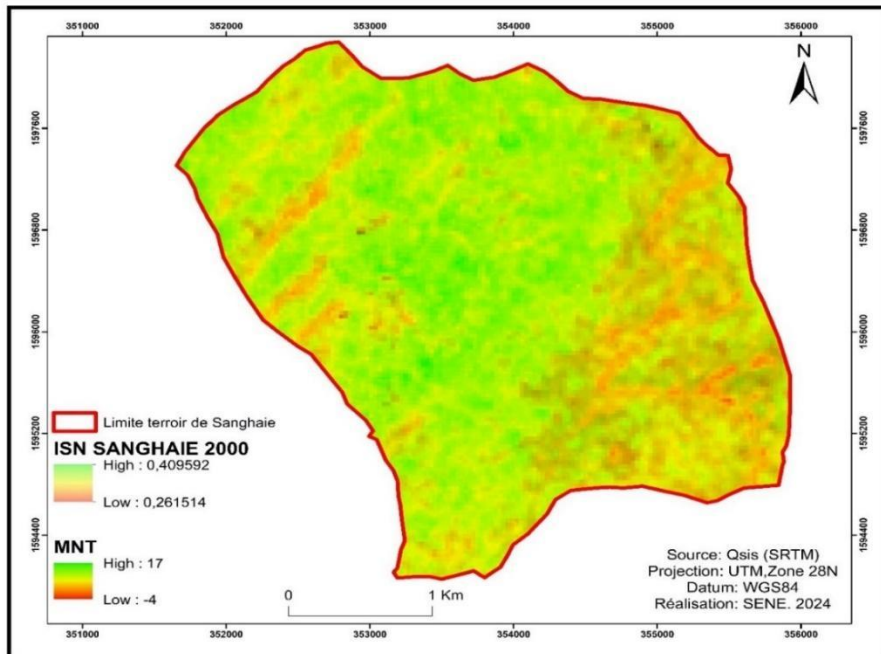
Figure 3 : Evolution des moyennes annuelles de la pluviométrie et des températures moyennes annuelles de la station de Fatick de 1990 à 2021



Source : Données service régional de la météorologie de Fatick, (2021)

Ce graphique (figure 3) montre que l'évolution de la pluviométrie et des températures à la station de Fatick est marquée par une variabilité interannuelle qui, toutefois, est caractérisée par une hausse sur la période considérée (1990 à 2021).

La combinaison de la carte de l'indice de salinité net et celle du modèle numérique de terrain montre que les zones à salinité élevée sont caractérisées par un relief très bas, parfois même inférieur au niveau de la mer.



Carte 5: MTN et ISN Sanghaie 2000

Le relief joue un rôle important dans le processus de salinisation des terres dans la vallée du Sine. En effet, les zones où la salinité est élevée, correspondant aux ISN faibles, sont notées dans les zones de basses altitudes (couleur rouge sur la carte 5). En revanche, les zones à altitude élevée coïncident aux zones où on a noté un niveau de salinité faible à nul (couleur verte sur la carte 5).

En dépit de ces facteurs qui sont typiquement naturels, les enquêtes et les entretiens révèlent d'autres facteurs de la salinisation des terres dans la vallée du Sine qui sont d'origine anthropique. C'est ainsi qu'il a été mentionné que l'utilisation des engrais chimiques, la saliculture et la mauvaise gestion de la digue anti-sel favorisent la progression des surfaces salées dans la zone d'étude.

Discussion

Les résultats de l'analyse de la salinité montrent que le niveau de salinité des sols varie d'un sol extrêmement salin à un sol légèrement salin. Le niveau de salinité qui varie suivant les profondeurs de prélèvement d'une part et entre les sites de prélèvement d'autre part démontre que la salinisation des terres dans la vallée suit un gradient à la fois horizontal et vertical. Pour ce qui est du gradient horizontal, il est associé à l'intrusion des eaux salines du bras de mer du Sine Saloum pendant la saison des pluies. Au cours de celle-ci, la vallée drainée par un cours temporaire, se remplit et entre en contact avec les eaux salées du bras de mer. Ce qui favorise l'invasion des eaux salées dans la vallée. Et pendant la saison sèche, les eaux se retirent, laissant derrière elles des efflorescences salines. S'agissant du gradient vertical, il est entraîné par la remontée capillaire de la nappe salée en surface pendant la saison sèche. Ces résultats sont en phase avec ceux de Faye *et al.* (2019) ; Fall et Sané, (2020) et Diallo *et al.*, (2015).

Selon Faye *et al.* (2019), l'évolution de la salinité des sols dans le nord de l'estuaire du Sine Saloum (centre-ouest du Sénégal) est caractérisée par un gradient vertical avec un niveau de salinité plus important dans les horizons de surfaces 0-20 cm (10 080 $\mu\text{S}/\text{cm}$) qu'en profondeur 20-40 cm (3119 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette évolution suivant le gradient montre une variation de salinité entre les deux niveaux de prélèvement. Fall et Sané (2020) ont démontré, dans le même sens, une variation verticale et horizontale de la salinité des sols dans le marigot de Bignona (Basse Casamance, Sénégal). Et cette variation est causée par une inondation des sols par les eaux salées du réseau hydrographique sous l'effet des grandes marées et par la remontée capillaire de la nappe salée dans les horizons de surface pendant la saison sèche. Dans le même ordre d'idée, Diallo *et al.* (2015) ont montré une variation du niveau de salinité des sols dans le nord des Niayes (ouest du Sénégal), en constatant que la salinité varie selon le site et la profondeur avec des valeurs plus élevées

en surface (0-20 cm) qu'en profondeur (20-40 cm). Les résultats de Diallo *et al.* (2015) se recoupent aussi avec ceux de Faye *et al.* (2019) dans la mesure où ils constatent que les horizons de surface (0-25 cm) sont plus affectés par la salinisation que les horizons inférieurs (25-50 cm). Ces tendances relatant un niveau de salinité plus important dans les horizons de surface que dans les horizons inférieurs sont en phase avec nos résultats qui montrent une salinité élevée dans les horizons de surface (0-25 cm) des tannes herbacés et arbustifs avec respectivement 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1526 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La cartographie des terres salées à travers les indices de salinité en télédétection et la cartographie de l'occupation des sols démontrent une évolution spatio-temporelle des surfaces salées dans notre zone d'étude. Cette évolution est marquée par une augmentation des terres salées entre 2000 et 2021 avec une progression de 42,56 %. Ce qui montre une forte augmentation des terres salées sur une vingtaine d'années. Cette tendance a été démontrée par Faye *et al.* (2019) dans le Nord de l'estuaire du Sine Saloum avec une augmentation de 14,3 % entre 1994 et 2006 et une augmentation de 39,4 % entre 2006 et 2014. Cela montre que les facteurs de la salinisation des terres entre les deux zones sont similaires. Dans le même sillage, Dia (2016) démontre à travers la cartographie de l'occupation des sols par image satellite et Google Earth que les zones de culture de la commune de Djilass (région de Fatick, Sénégal) ont connu une régression de 874 ha aux dépens des tannes qui ont progressé de 4163 ha entre 2000 et 2016. Ndiaye *et al.*, (2022) ont démontré, à travers une classification supervisée, qu'en 2001, la plupart des zones de la vallée du fleuve Sénégal sont occupées par la classe des sols salins-sodiques qui représente 63 % de la superficie de la zone. L'ensemble de ces résultats confirme la pertinence de l'utilisation de la télédétection dans l'évaluation de la salinisation des terres. Cette importance a été perçue dans notre étude à travers la combinaison et le calcul d'indices en se basant sur des bandes sensibles à la présence du sel dans le sol. Cette approche qui s'est soldée par une cartographie des terres salées identifie trois types de classes, à savoir une classe caractérisée par une salinité élevée, une classe avec une salinité moyenne et une classe avec une salinité faible à nul.

L'interprétation du graphique de la perception de la population sur les causes de la salinisation des terres dans la vallée fossile du Sine montre que la salinisation des terres est principalement causée par l'invasion marine et la remontée capillaire. L'invasion marine, comme principal facteur de salinisation dans cette zone, peut s'expliquer par le fait que le relief connaît une dépression en raison de la présence dans cette zone de la vallée fossile du Sine. Cette vallée qui se jette dans le bras de mer du Sine Saloum est inondée par les eaux salées du bras de mer. Sous l'effet de la pluviométrie, la vallée se remplit et ses eaux entrent en contact avec celles salées du bras de mer. Etant donné que la quantité de précipitations n'est pas suffisante pour repousser les

eaux salées entraînées par la marée, elle favorise à son tour l'intrusion des eaux salées dans toute la vallée.

Concernant la remontée capillaire, elle est liée à la nappe phréatique peu profonde et salée dans la zone. En général, les températures élevées combinées à une longue durée d'insolation se traduisent par une forte évaporation à la surface pendant la saison sèche. Ce qui intensifie l'accumulation des sels contenus dans la nappe phréatique (Dia, 2016). Ainsi, les caractéristiques des températures, qu'il s'agisse des températures minimales, maximales ou moyennes, influent d'une manière ou d'une autre sur la salinisation des terres agricoles de notre zone à travers le phénomène d'évaporation. La hausse des températures notée ces dernières années (1990 à 2021) et les longues saisons sèches provoquent un tarissement précoce des cours d'eau temporaires qui occasionne à son tour la remontée des eaux salées de la nappe au niveau des horizons de surface. Ces deux causes ont été identifiées par Fall et Sané (2020) dans le marigot de Bignona et par Faye *et al.* (2019), au Nord de l'estuaire du Sine Saloum. Pour sa part, Ndiaye (2017) identifie l'existence d'une nappe phréatique saline et peu profonde, l'aridité du climat, les mauvaises pratiques d'irrigation et le manque de drainage comme les différentes causes de la salinisation des terres dans le delta du fleuve Sénégal. En basse Casamance, Biaye (2016) démontre que la salinisation des rizières de Mlomp est liée à la baisse de la pluviométrie, à l'intrusion marine, à la remontée capillaire de la nappe salée et à l'abandon des pratiques agricoles traditionnelles. Les résultats de ces recherches conduites dans différentes régions du Sénégal, montrent que les causes de la salinisation des terres sont multiples et varient d'une zone géographique à une autre. La diversité des facteurs de salinisation des terres est liée principalement à la nature du relief, aux conditions climatiques et aux pratiques agricoles locales.

Conclusion

Le processus de dégradation chimique des terres par salinisation est un phénomène répandu dans les zones estuariennes et celles où les cours d'eau subissent l'influence des interactions fluviomarines. La vallée fossile du Sine, en contact direct avec le bras de mer du Sine Saloum, illustre cette problématique, avec une progression notable de la salinisation entre 2000 et 2021. Ce phénomène résulte de deux mécanismes principaux : un processus horizontal, marqué par l'intrusion des eaux salées du bras de mer du Sine Saloum, et un processus vertical, lié à la remontée capillaire de la nappe phréatique peu profonde et salée. Ces processus sont accentués par les conditions climatiques locales, notamment l'augmentation des températures et la variabilité pluviométrique, ainsi que par le relief bas de la zone.

Malgré ces contraintes, des opportunités émergent, notamment avec le développement de la saliculture, qui s'impose aujourd'hui comme une activité économique majeure. Cependant, pour préserver les terres agricoles et garantir un avenir durable à cette zone, il est essentiel d'améliorer la gestion des eaux grâce à des digues anti-sel et des systèmes de drainage adaptés. L'adoption de variétés résistantes au sel et l'utilisation d'amendements organiques pourraient également préserver la productivité agricole. La reforestation et l'agroforesterie, associées à une sensibilisation des agriculteurs et un appui institutionnel, offriront des solutions durables pour protéger les terres et les moyens de subsistance.

En intégrant ces mesures, la zone pourrait non seulement ralentir la dégradation des terres, mais aussi renforcer la résilience de son agriculture face aux défis environnementaux.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Biaye J.B. (2016). *Salinisation des terres rizicoles à Mlomp (Oussouye) : impacts sur la production et perspectives de développement*, rivièrre du Sud, Université Assane Seck de Ziguinchor, 123p.
2. Bocoum M. (2004). *Méthodes d'analyses des sols*. Document de travail, Institut National de Pédologie (INP), Dakar-Sénégal, 55 p.
3. Chiek S. (2021). *La salinisation des sols un défi majeur pour la sécurité alimentaire mondiale ; The conversation*.
4. Delaunay V. & al. (Éd.), (2018). *Niakhar, mémoires et perspectives. Recherches pluridisciplinaires sur le changement en Afrique*. Marseille et Dakar, Éditions de l'IRD et L'Harmattan Sénégal, 535p.
5. Delaunay V. (2017). *La situation démographique dans l'observatoire de Niakhar 1963-2014*, Dakar, IRD, 90p.
6. Dia B. (2016). *Stratégies de récupération des terres salées dans la commune de djilass, arrondissement de Fimela*, Mémoire de Master 2 UASZ, 121p.
7. Diallo M. & al. (2015). *Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal)*, ResearchGate, 12p.

8. Fall, A. C. A. L., & Sane, Y. (2020). *Diagnostic des Contraintes de Mise en Valeur Rizicole des Sols Fluvio-Marins du Marigot de Bignona, Basse Casamance, Sénégal*. European Scientific Journal, 16(3). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n3p359>
9. Fall A. et al. (2021). *Salinisation-acidification des sols et riziculture dans la commune de Mlomp, Oussouye (Basse Casamance, Sénégal)*, Agronomie Africaine 33 (1) : 1 – 12p.
10. FAO, (2024). *La désertification et la dégradation des terres : la grande Muraille Verte*, <https://www.fao.org/in-action/action-against-desertification/action-against-desertificationbackground/action-against-desertificationbackgroundcontext/fr/>
11. Faye & al., (2019). *Evolution des terres salées dans l'estuaire du Saloum (Sénégal)*, géomorphologie : relief, processus, environnement, vol.25, n°2, p.81-90
12. Faye M. H. T., (2020). *Conservation de la biodiversité et développement local : cas de l'aire protégée autochtone et communautaire de Mangagoulack (Basse-Casamance)*, Mémoire de Master UASZ,140p. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF>. Consulté : 2024-07-17
13. HUMUNDI, (2024). *La salinisation des sols : menace pour la sécurité alimentaire au Sénégal*, nombre de page inconnu.
14. Mbaye I., (2005). *Climat et société dans l'apparition et la diffusion de la méningite à méningocoque en zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'ouest. L'exemple de la zone d'étude de Niakhar (Sénégal)*, Strasbourg, Université Louis Pasteur Strasbourg, 435 p.
15. NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. Distribué par OpenTopography,
16. Plan de développement communale de Niakhar, (2018)
17. Rajendran, S. & al., (2021). *Remote sensing of inland Sabkha and a study of the salinity and temporal stability for sustainable development: A case study from the West coast of Qatar*. Science of The Total Environment, 782p.
18. Réa L.M., Parker R.A. (1997) *Designing and conducting survey research, a comprehensive guide*. Fourth Edition. 355p.
19. Reid K. (2006). *Échantillonnage et analyse de sol dans le cadre de la gestion des éléments nutritifs ;* MAAARO, <http://omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/06-032.htm>
20. Sadiki M. & al., (2016). *Cartographie de la salinité à la surface du sol dans une zone du Prerif : cas de la Region de L'Ouergha*, European Scientific Journal, Ed. Vol. 12, N°3, Doi:

10.19044/esj.2016.v12n3p197

URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n3p197>.

21. Sène, F.N., (2022). *Analyse des contraintes agricoles dans le Bassin arachidier : cas des villages de Yenguélé et Sanghaie (Commune de Niakhar)*, Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 157p.
22. Tine C., (2013). *Pratiques agricoles innovantes en agricultures pluviale dans la commune rurale de Niakhar : cas des villages de Yenguélé et Sanghaie*. Département de géographie UCAD, Mémoire de Master, Espace, Société et développement, 132p.
23. Ziza F. & al., (2012). *Evolution de la salinité dans les périmètres de mise en valeur et conséquence sur la diminution des rendements du blé dans une région Saharienne : cas de la région d'Adrar*, Algerian journal of arid environment, vol.2, 12p.
24. Kumar S. & al., (2013) *Indices spectraux dérivés de données de télédétection hyper-spectrales pour caractériser les sols affectés par le sel : une étude de cas des plaines indo-gangétiques de l'Inde*. Environ Earth Sci 73, 3299–3308 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y>