

Suivi de la Variabilité Spatio-temporelle des Propriétés Physico-chimiques des Eaux d'Irrigation et Terrains Agricoles des Niayes du Gandiolais

Mar Gaye

Doctorant, Université Cheikh Anta Diop de Dakar,
Ecole Doctorale Eau Qualité et Usage de l'Eau, Laboratoire LEIDI
(Dynamique des Territoires et Développement), Senegal

Souleymane Niang

Enseignant chercheur, Environnementaliste,
Université Amadou Mokhtar Mbow de Diamniadio, Senegal

Cheikh Ahmed Tidiane Faye

Enseignant chercheur, Géomorphologie,
Université Cheikh Anta de Dakar, Senegal

Doi: [10.19044/esipreprint.9.2023.p1](https://doi.org/10.19044/esipreprint.9.2023.p1)

Approved: 01 September 2023

Posted: 02 September 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Gaye M., Niang S. & Faye C.A.T. (2023). *Suivi de la Variabilité Spatio-temporelle des Propriétés Physico-chimiques des Eaux d'Irrigation et Terrains Agricoles des Niayes du Gandiolais*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.9.2023.p1>

Résumé

Accueillant la limite nord de la zone humide des Niayes, les eaux d'irrigation et les formations morpho-pédologiques du Gandiolais sont surjettent en un processus de dégradation marquée par une dynamique de salinisation accrue. Cette dernière est en partie engendrée les modifications anthropiques de l'estuaire du fleuve à travers la mise place du barrage anti-sel de Diama en 1986 et l'ouverture de la brèche sur la Langue de Barbarie 2003. L'objectif de cette contribution cherche à analyse les processus de dégradation de la qualité des eaux d'irrigation et des espaces maraichers du Gandiolais sur le plan spatio-temporel. Sur ce, la démarche méthodologique adoptée consiste d'abord à faire des mesures in situ à l'aide du pH-mètre et d'un conductimètre en saison sèche comme en hivernage. Ensuite, des échantillons de sols sont prélevés sur les trois formations dunaires existantes et leurs dépressions à savoir dunes blanches littorales, dunes jaunes semi-

fixées et dunes rouges continentales afin de déterminer les variations spatiales et saisonnières de la Ce, du Ph et des bases échangeables. De ce fait les eaux souterraines et les formations avec une qualité aléatoire sur un même secteur, développent une salinité et un caractère acido-basique plus élevés du littoral vers le continent. En effet, la conductivité électrique se distribue de 3999 à 256 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ avec aussi un pH dégradant de 9,19 à 5,86 des dunes blanches littorales aux dunes rouges continentales aussi bien en fin saison qu'après l'hivernage avec une légère augmentation après hivernage pour les eaux. En ce qui concerne les formations morpho-pédologiques, elles sont globalement non salines sur toute l'étendue du Gandiolais. La nature du pH montre qu'elles adoptent un caractère alcalin à légèrement acide du littoral vers le continent et de la surface vers la profondeur. Leur capacité d'échange cationique reste généralement faible.

Mots-clés: Variabilité, physico-chimiques, eaux d'irrigation, Niayes, Gandiolais

Monitoring of the Spatio-temporal Variability of the Physico-chemical Properties of Irrigation Water and Agricultural Land in the Niayes of Gandiolais

Mar Gaye

Doctorant, Université Cheikh Anta Diop de Dakar,
Ecole Doctorale Eau Qualité et Usage de l'Eau, Laboratoire LEIDI
(Dynamique des Territoires et Développement), Senegal

Souleymane Niang

Enseignant chercheur, Environnementaliste,
Université Amadou Mokhtar Mbow de Diamniadio, Senegal

Cheikh Ahmed Tidiane Faye

Enseignant chercheur, Géomorphologie,
Université Cheikh Anta de Dakar, Senegal

Abstract

Hosting the northern limit of the Niayes wetland, the irrigation waters and morpho-pedological formations of the Gandiolais are overflowing in a degradation process marked by an increased salinization dynamic. The latter is partly caused by anthropogenic modifications of the river estuary through the installation of the anti-salt dam of Diama in 1986 and the opening of the breach on the Langue de Barbarie 2003. The objective of this contribution is to analyze the processes of degradation of the quality of irrigation water and

market gardening areas of Gandi in space and time. The methodological approach adopted consists firstly of making in situ measurements using a pH meter and a conductivity meter in the dry season as well as in winter. Then, soil samples are taken from the three existing dune formations and their depressions, namely coastal white dunes, semi-fixed yellow dunes and continental red dunes in order to determine the spatial and seasonal variations of Ce, Ph and exchangeable bases. As a result, groundwater and formations with random quality in the same area develop a higher salinity and acid-base character from the coast to the mainland. Indeed, the electrical conductivity is distributed from 3999 to 256 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ with also a degrading pH from 9.19 to 5.86 from the coastal white dunes to the continental red dunes both at the end of the season and after wintering with a slight increase after wintering for the waters. With respect to morpho-pedological formations, they are generally non-saline throughout the Gandiolais. The nature of the pH shows that they adopt an alkaline to slightly acidic character from the coast to the mainland and from the surface to the depth. Their cation exchange capacity is generally low.

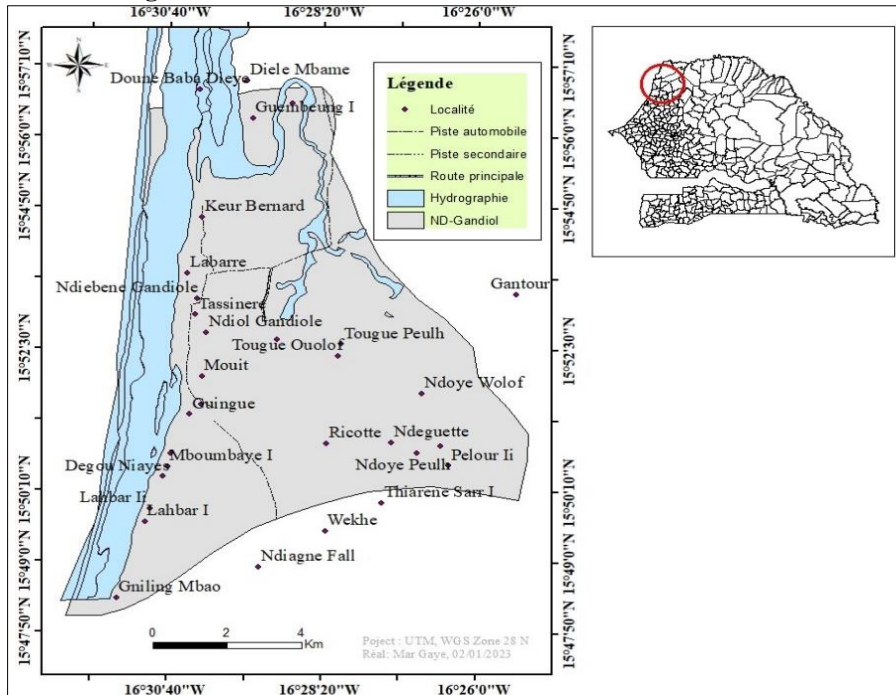
Keywords: Variability, physico-chemical, irrigation water, Niayes, Gandiolais

Introduction

La commune de Ndiébne Gandiol s'étend entre la latitude 15°47' et 15°57' et la longitude 16°33' et 16°23'. Elle appartient sur le plan administratif à la région de Saint-Louis et du département du même nom (fig.1). En ce qui concerne le Gandiolais, il est la région naturelle des Niayes incluse dans la commune de Ndiébène Gandiol et dans une partie du secteur Sud-ouest de la commune de Gandon. Avec le découpage intervenu en 2008, la quasi-totalité de l'aire du Gandiolais s'est retrouvée dans la commune de Ndiébène Gandiol, (Niang.S, 2017). Reposant sur trois générations de dune à savoir les dunes rouges ogoliennes, les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches vives, elle abrite aussi la section terminale de la région des Niayes. A l'arrière des dunes littorales semi-fixées, s'égrène le chapelet des dépressions marécageuses appelées Niayes, SY A.A., (2013). Présentes tout au long de la Côte nord, elles occupent une superficie de 2000 km² environ, correspondant à une bande longue de 135 km et large au maximum de 35 km. Ce sont des dépressions interdunaires dont le fond est occupé par la nappe phréatique, subaffleurante (Blouin, 1990) in SY B.A., et al, (2015). Ceci a permis le maintien d'une flore relique d'origine guinéenne. Subissant les influences de l'alizé maritime, Wade.C.T., (2008) en caractérisant le microclimat des Niayes, affirme que ce vent frais et humide permet à la zone d'avoir une forte hygrométrie et de fréquentes rosées. Secteur dunaire avec

des couloirs évoluant en Ndioucki grâce à la proximité des eaux souterraines, la nappe alluviale s'étend pratiquement sur l'ensemble du delta et est localisée dans les alluvions sablo-argileuses du Quaternaire.

Figure 1. Localisation de la commune de Ndiébène Gandiolais



La région humide des Niayes, offre plusieurs possibilités pour un maraîchage propice. En 1984, la bande côtière des Niayes produisait déjà 80 % de la production légumière du pays (Sénégal) Jacoutot, (2006). Les principales spéculations cultivées s'observent à travers l'oignon, le haricot vert, la tomate, l'aubergine, la pastèque, la carotte, le navet, la menthe, le poivre, le persil, le concombre, etc. L'arboriculture y est aussi dominante grâce à la production de papayes, de banane, de noix de coco, etc.

Les travaux spécifiques à la caractérisation des propriétés physico-chimiques des Niayes du Gandiolais sont rares ou sont anciens par rapport à l'évolution actuelle du milieu. Or, les connaissances sur le niveau de dégradation des ressources en eau et des formations morpho-pédologiques du Gandiolais permettent de déterminer les facteurs liés aux baisses des rendements du maraîchage dans la région des Niayes. Cette contribution a pour objectif de suivre la variabilité spatio-temporelle des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation et espaces agricoles du Gandiolais.

Méthodologie

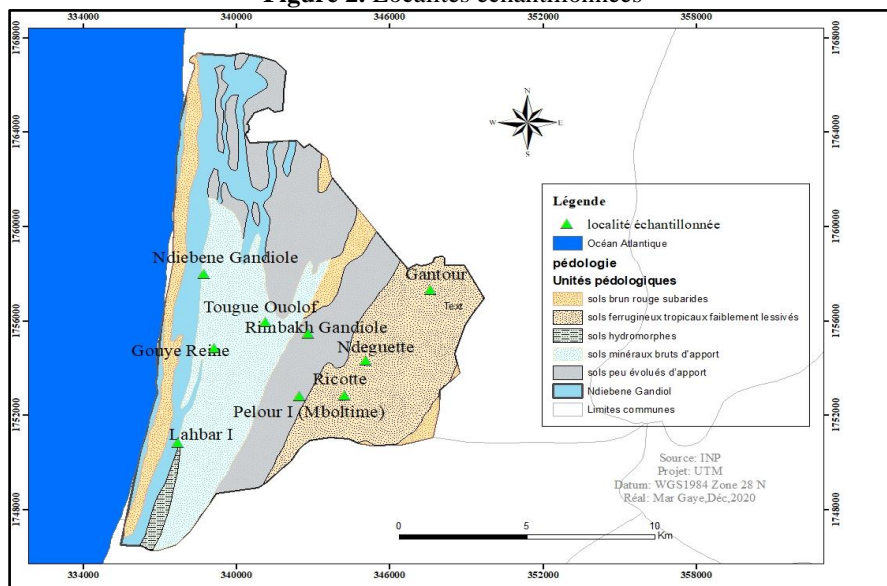
L'approche méthodologique s'articule autour des prélèvements d'échantillons de sol sur les différents types de formations morpho-pédologiques complétés par des mesures in situ de la qualité des eaux d'irrigation. Les prélèvements se déroulent sur deux saisons (une campagne au mois de mai et une campagne au mois d'octobre) (sur les cuvettes maraichères et sur les eaux d'irrigation). Sur ce, un total de 40 échantillons a été récolté entre 0 et 15 cm et 15 et 30 cm de profondeur pour chaque campagne et analysé au laboratoire. L'objectif vise à étudier les teneurs du sol en CE, pH, en MO, en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na). De ce fait, les opérations de collecte ciblent, les trois catégories de dune existant sur le milieu, qui occasionnent régulièrement un suivi des eaux souterraines sur trois transects :

transect 1 (villages côtiers): correspond aux villages situés dans le système des dunes blanches et les villages situés à l'entrée de la commune: Bountou Ndour, Mboumbaye, Gadga Lahrar ;

transect 2 (zone centre): concerne les villages situés sur les dunes semi-fixées: Toug Peulh, Rimbakh Gandiol et Gouye Reine ;

transect 3: correspond aux villages de la zone continentale gandiolaïse (dans les dunes rouges): Gantour, Ndoye Diagne, Pelour.

Figure 2. Localités échantillonnées



Les mesures in situ des paramètres chimiques des eaux d'irrigation

Les mesures in situ des eaux irrigations cherchent à déterminer deux paramètres chimiques variables à savoir la CE et le pH. Les mesures in situ sont effectuées sur les puits et les forages d'irrigation à l'aide d'un pH-mètre,

d'un conductimètre (photo 1) et d'un GPS de marque GARMIN. De ce fait, les opérations de mesure ciblent les mêmes tansects que les activités de collecte d'échantillons de sol.

Photos 1. Conductimètre en bleu, pH-mètre en vert et GPS de poche pour les mesures in situ des eaux d'irrigation



Clichés : GAYE.M, du 23/08/2021

Traitement des données collectées

- **Dosage du pH**

La mesure du pH est réalisée à partir de suspension de sol avec un rapport sol-eau de 2/5. Le protocole consiste à mettre dans une bouteille en plastique de 100 ml. On met 20 g de terre non broyée et 50 ml d'eau distillée bouillie et refroidie et une solution de pH neutre pour stabiliser la mesure. Puis, on agite à l'aide d'un agitateur électrique pendant 1 minute dont 1500 tours la minute. Après agitation, on laisse le mélange se refroidir pendant 30 minutes. L'étalonnage du pH-mètre. On plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure tout en laissant la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes. Les normes suivantes (Tableau 1) permettent l'interprétation des valeurs de pH de sols obtenues.

Tableau 1. Les normes d'interprétation du statut acido-basique des sols

Degré	Extrêmement acide	Très acide	Acide	Modérément acide	Légèrement acide	Neutre	Légèrement alcalin	Alcalin	Très alcalin
pH	<4,5	4,6 - 5,2	5,3 – 5,5	5,6 – 6,0	6,1 – 6,6	6,7-7,2	7,3 – 7,9	8,0 – 8,5	>8,5

Source : bureau pédologique du Sénégal (1992)

Mesure de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est un indice des teneurs en sels solubles dans la solution du sol, elle exprime la concentration des solutés ionisables ; c'est-à-dire, son degré de salinité. La détermination de la salinité

se fait sur l'extrait sol/eau (rapport = 1/10). Dans une bouteille en plastique de 250 ml. On met 30 g de terre fine et 150 ml d'eau distillée bouillie puis refroidie. Puis on agite pendant 20mns à l'agitateur électrique à 1050 tours la minute. Après agitation, on laisse la solution reposer pendant 2h voir même plus. Une fois que la solution est bien reposée, on verse le liquide du mélange dans un bécher et on le laisse reposer pendant 20mns d'horloge. Après l'étalonnage du conductimètre, on plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure.

Tableau 2. Normes d'estimation de la CE

Degré de salinité	Non salin	Légèrement salin	Salin	Très salin	Extrêmement salin
CE 1/10 (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)	250	250 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	>2000

Source : bureau pédologique du Sénégal (1992)

Dosage du CARBONE (C) et de la MATIÈRE ORGANIQUE (MO)

Dosage du carbone total ou le dosage de la matière organique (M.O) est réalisé à partir du dosage de l'un de ces constituants : le Carbone organique. Le Carbone organique (C.O ou Corg.) est estimé à 58 % de la matière organique d'où : $\% \text{ C. O} \times 1.724 = \% \text{ M.O}$. La méthode utilisée est celle de Walkley et Black modifiée. En d'autre terme, le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potatium et d'acide sulfurique. Le pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone dans le sol. La détermination du pourcentage de matière organique sur les sédiments collectés dans les unités pédologiques du Gandiolais, est réalisée avec la collaboration du laboratoire de l'ISRA de Saint-Louis.

L'estimation générale de la matière organique pour les sols présentant les teneurs en argile + limon = 15 à 50 % est représentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Interprétation du carbone total et/ou de la MO

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

Source : CIRAD et GRET (2002) in Goudiaby et al. (2002)

BASES ÉCHANGEABLES (NA, K, Ca, MG, CL,)

Bases échangeables Il s'agit de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+} . Leur somme est notée S. on utilise la méthode d'acétate de sodium à pH 8,2, déterminer les bases échangeables des sols ayant des carbonates libres (pH > 7). Le principe consiste à extraire les cations avec de l'Acétate d'Ammonium 1M (Peser 154,2 g d'Acétate d'Ammonium dans 1,800 L d'eau distillée et agiter) à pH 7, sinon le ramener à 7 avec quelques gouttes d'acide acétique

ou d'hydroxyde d'ammonium. La gamme d'étalonnage est préparée à partir des solutions mères de Ca (1000 ppm), Mg (1000 ppm), K (1000 ppm) et Na (1000 ppm). Le poids de sol est de 2,5g. La méthode consiste à peser 20 g de terre fine dans un bécher de 250 ml ; ajouter 50 ml d'acétate d'ammonium si le pH est inférieur à 7,5 ou 50 ml d'acétate de sodium si le pH est supérieur à 7,5 ; agiter et laisser en contact une nuit ; filtrer le lendemain sur filtre lent en recueillant le filtre dans une fiole jaugée de 250ml ; poursuivre la percolation par fraction successive de 50 ml d'acétate d'ammonium ou de sodium selon le pH qu'on met dans le bécher en contact avec le sol pendant 30 mn puis agiter et filtrer ; pour déterminer $Ca^{++} + Mg^{++}$ on prélève 20 ml de la solution filtrée puis on ajoute 5 ml de solution tampon (soude) 5 N et 6 gouttes d'indicateur coloré et on obtient la coloration verte. On dose la solution obtenue à l'aide d'une burette contenant le complexon jusqu'au point de virage (coloration violette). Le reste de la solution filtrée va servir à déterminer les valeurs de K^+ et Na^+ avec le Spectrophotomètre à flamme ou avec le flume photometer ANA_135 par comparaison avec les courbes d'étalonnage préalablement tracées. La valeur de la CEC d'un sol est fonction de sa richesse en argile et en matière organique. Le niveau de la CEC permet de préciser les doses et fréquences d'apports pour une fertilisation potassique et magnésienne, Goudiaby et al., (2002)

Tableau 4. Normes d'interprétation de la CEC

Estimation de la CEC	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
CEC (meq/100g)	>40	25-40	15-25	5-15	<5
Estimation du Mg^{++}	bas	Moyen	Haut		
Teneur en meq/100g	< 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
Meq/100g PPM	< 30	30 – 60	> 60		

Source : Landon, 1984

Résultats du suivi des paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation et des formations morpho-pédologiques du Gandiolais

Le suivi du comportement des paramètres physico-chimiques des terrains maraîchers du Gandiolais passe par la détermination en saison sèche et en période post-hivernage de la CE et du pH, de la matière organique (MO) et du C (carbone) et des bases échangeables comme Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ .

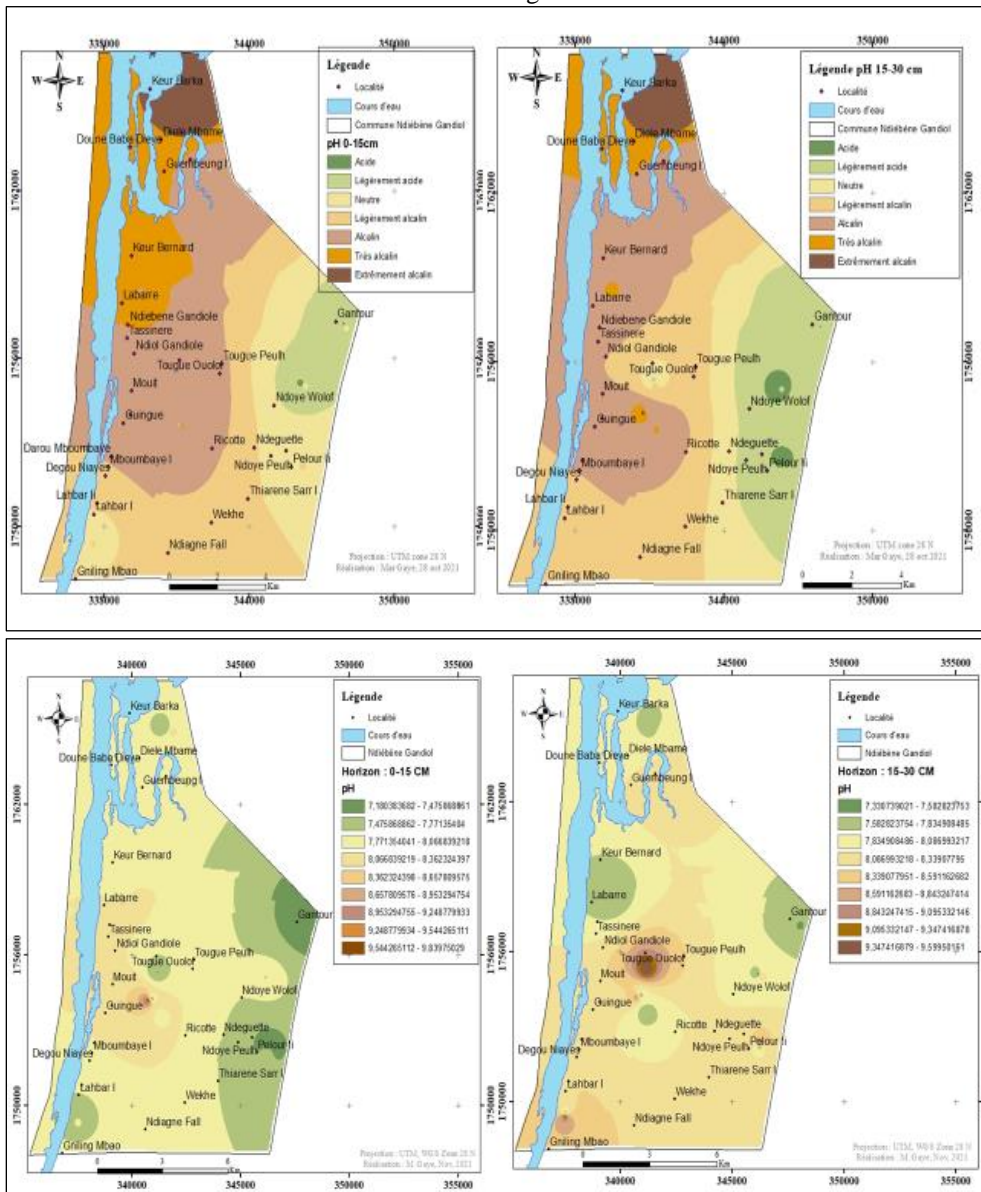
Le pH des formations pédologiques du Gandiolais

Le statut acido-basique des formations pédologiques du Gandiol se caractérise par des sols extrêmement alcalins, très alcalin et légèrement alcalin sur les générations des dunes littorales blanches en fin saison sèche comme Bountou Ndour avec un pH estimé 9,33 et 9,55 pour les deux

échantillons collectés aussi bien en horizon de surface qu'en horizon profond, (fig.1, tableau 23). A la hauteur de Ndiébène Gandiol, les échantillons 1 et 2 révèlent le caractère très alcalin et alcalin des sols aussi bien en surface qu'en profondeur avec des valeurs respectives estimées à 8,9 et 8,04 pour l'échantillon le P1 ND GAN et 8,5 et 8,8 pour le P2 ND GAN. Mais juste après l'hivernage, le pH des échantillons collectés sur les mêmes sites connaissent une légère diminution. Avec des teneurs diminutives de la surface vers la profondeur, les échantillons 1 et 2 de Bountou Ndour révèlent que les sols deviennent alcalins à légèrement alcalins avec des valeurs estimées à 8,22 et 7,51 (P1 BN) et à 8,05 et 7,61 (P2 BN). En ce qui concerne le caractère des échantillons prélevés sur les dunes semi-fixées le pH reste pratiquement similaire aussi bien en fin saison sèche qu'en hivernage. Avec des valeurs définissant des sols alcalins à légèrement alcalins, les échantillons récoltés à Gouye Reine supportent un pH de 8,71 et 8,72 pour le P1 GR respectivement sur l'horizon 0-15 cm et celui de 15-30 cm et 8,01 et 8,1 pour le P2 GR en mai et en octobre le il s'estime à 7,91 et 8,05 pour le P1GR te à 7,66 et 7,69 pour le P2 GR. En ce qui comportement acido-basique des sols couvrant les dunes rouges continental, caractère neutre et légèrement acide observé en mai avec des valeurs estimées respectivement en surface comme en profondeur à 6,55 et 6,76 pour le P1 GT et 7,36 et 6,91 pour le P2 GT (Gantour) devient légèrement alcalin après hivernage dont les mêmes échantillons prélevés sur le même montrent un pH estimé à 7,25 et 7,31 pour le P1 GT et 7,81 et 7,46 pour P2 GT.

Sur la fig.3, de l'ouest vers l'est aussi bien en fin saison et après l'hivernage l'analyse des échantillons révèle que du littoral vers l'hinterland Gandiolais, les formations morpho-pédologiques développent un caractère acido-basique très alcalin, alcalin, légèrement alcalin jusqu'à neutre ou légèrement acide. De plus de l'horizon 0-15 cm à l'horizon 15-30 cm le p H tend à diminuer.

Figure 3. Distribution du pH dans les horizons 0-15 cm et 15-30 cm en saison sèche et post-hivernage



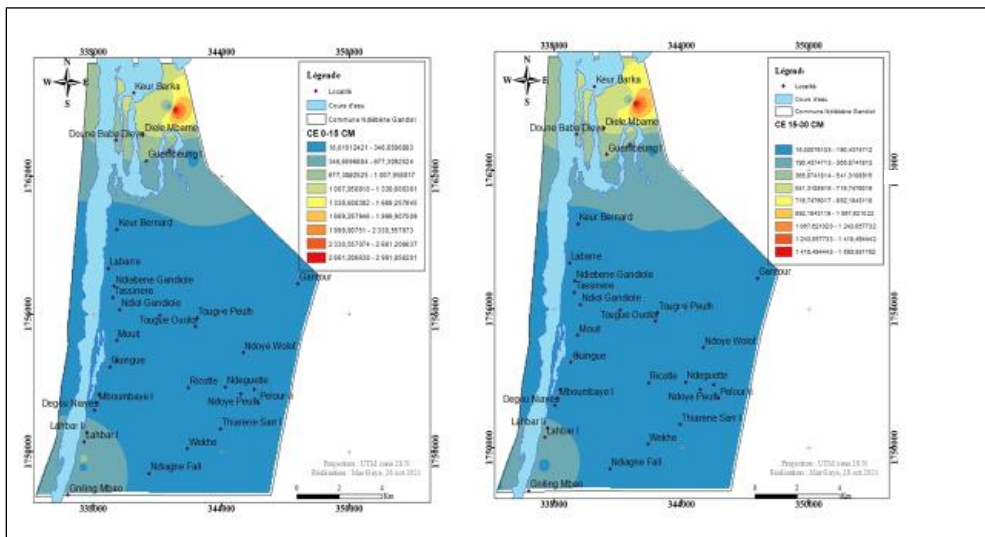
Sur l'ensemble des terrains maraichers échantillonnés, le pH décline une évolution irrégulière entre la fin de la saison sèche chaude et la fin de l'hivernage. La variabilité des valeurs pH, étant sous le contrôle du potentiel de dilution des eaux de la pluie, justifie les valeurs très élevées du paramètre pendant la saison sèche. Cependant, même si la variabilité spatio-temporelle, diminuant sur certaines séquences du littoral vers le continent ou de la surface vers la profondeur, il révèle aussi des sols de nature très alcaline,

alcaline, neutre et légèrement acide. La remarque sur le changement d'état du pH, s'observe aussi sur la variabilité spatiale de la CE.

Résultats de la CE des unités morpho-pédologiques du Gandiolais saison sèche

L'analyse de la conductivité électrique des formations morpho-pédologiques du Gandiolais montre que le nord et le Sud-ouest du Gandiolais reposent sur des sols très salins voir salin et/ou légèrement salins, fig.3.

Figure 3. Résultats de la CE dans les horizons 0-15 cm et 15-30 cm en saison sèche des échantillons de sol du Ganiolais



De ce fait, à la latitude Bountou Ndour, de Gadga Lahra et Ngaina reposant sur les dunes littorales vives, les formations morpho-pédologiques échantillonnées y sont de nature extrêmement saline à légèrement saline. En effet, à Bountou Ndour l'échantillon 1 (P1BN) se retrouve extrêmement salin en surface avec une CE de 2994 µS.cm⁻¹ et de salin en profondeur dont la CE s'estime à 1595 µS.cm⁻¹. Le P2 de Gadga Lahra et le P2 de Ngaina montrent des sols légèrement salins avec des CE respectives évaluées en surface comme en profondeur à 948 et 383 µS.cm⁻¹ et 556 et 353 µS.cm⁻¹. Hormis ces échantillons ci-dessus décrivant des sols extrêmement salins, salins et légèrement salins, l'ensemble des échantillons récoltés sur le terroir Gandiolais montrent que les sols sont de nature non-salins dont les plus faibles valeurs de CE sont mesurées sur les échantillons récoltés sur les dunes rouges continentales à la hauteur de Pelour dont les échantillons (P1 PL et P2PL) révèlent des valeurs de CE respectives de 0-15 et 15-30 cm estimées à 16 et 15 µS.cm⁻¹ et 22 et 15 µS.cm⁻¹.

Tableau 5. CE des terrains agricoles du Gandiolais en saison sèche

Codes	Villages	Horizons			
		CE (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)0-15cm		CE (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)15-30cm	
		point 1	point 2	point 1	point 2
NG GAN	Ndiébène Gandiol	105	97	73	110
GR	Gouye Reine	56	96	139	83
GL	Gadga Lahrar	82	949	81	383
RG	Rimbakh Gandiol	71	144	93	96
PL	Pelour	16	22	15	15
TP	Tougue Peulh	56	45	68	68
NP	Ngaina	85	556	42	353
ND NDOYE	Ndoye Diagne	21	80	17	86
GT	Gantour	178	52	168	45
BN	Bountou Ndour	2994	298	1595	253

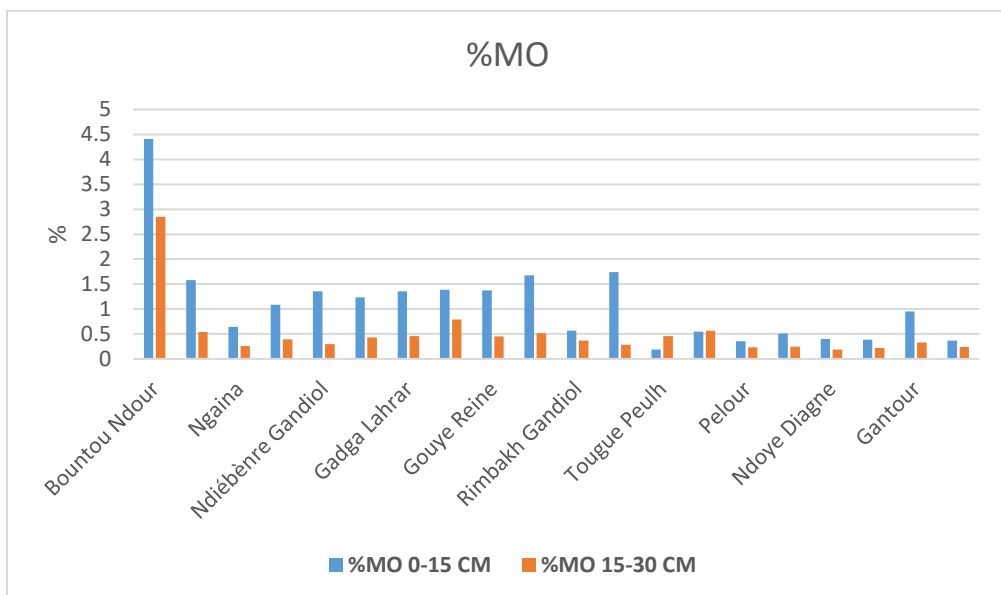
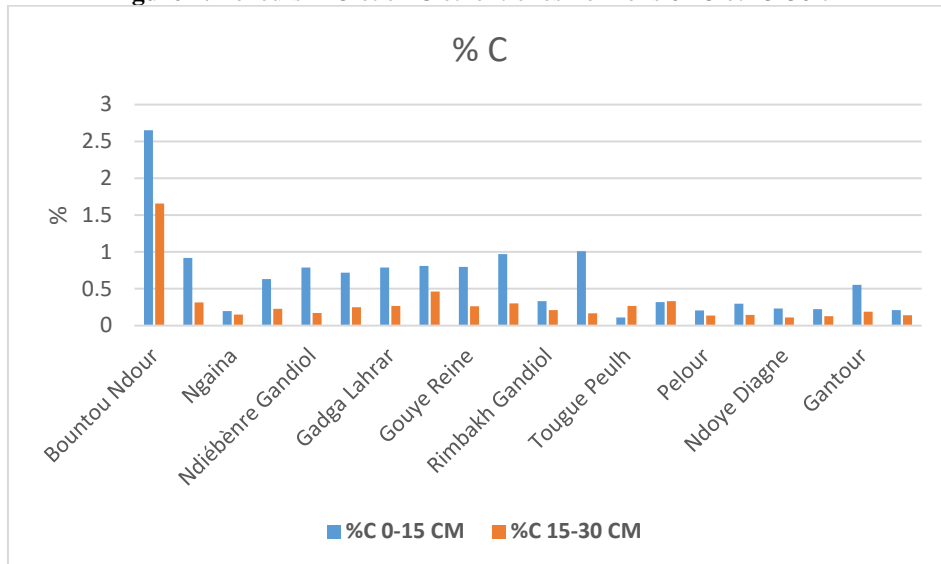
En somme, les formations morpho-pédologiques du Gandiolais du littoral vers le continent ou de la génération des dunes bordières en passant par les dunes jaunes semi-fixées jusqu'aux dunes rouges continentales, les propriétés physico-chimiques des sols passent par des sols à caractère extrêmement alcalin et salin à des sols acides et non salin. La détermination de la CE et du pH a permis d'individualiser que les formations pédologiques des Niayes Gandiolais de façon dégradée, sont plus alcalines et salines du littoral vers l'hinterland; du nord vers le sud et parfois de la surface vers la profondeur. La dernière situation est aussi remarquée sur les teneurs en matière organique et en carbone.

Analyse des teneurs en matière organique et en Carbone des formations morpho-pédologiques du Gandiolais

Les formations morpho-pédologiques du Gandiolais développent des teneurs différentes en MO et C. Ces deux propriétés constituent des éléments révélateurs de la qualité du sol. De ce fait, la MO et le C, deux propriétés étroitement liées, développent des proportions différentes du littoral vers le continent.

Proportion des échantillons de sols en MO et en Carbone

Les proportions de %MO et %C demeurent plus importantes sur certaines séquences des types de sols reposant sur les dunes blanches littorales que sur les dunes jaunes semi-fixées et les dunes rouges. Sur la fig.4, les teneurs en Mo et en C sont aussi plus importantes sur l'horizon 0-15 cm que sur l'horizon 15-30 cm de profondeur.

Figure 4. Teneurs MO et en C et entre les horizons 0-15 et 15-30 cm

Les proportions de MO et de C caractérisées très riches et riches sont observées à la hauteur de Bountou Ndour dont celles des échantillons 1 de la surface vers la profondeur s'estiment respectivement de 4,4 et 2,84 pour la MO et de 2,654 et 1,655 % pour le C (P1 BN). Hormis cette localité, les échantillons récoltés sur toute l'étendue du Gandiolais montrent que les proportions de Mo et de C diminuant du littoral vers le continent et de la surface vers la profondeur se révèlent parfois riches, pauvres à très pauvres.

Par exemple, sur les dunes jaunes semi-fixées les échantillons de Gouye Reine (P1 et P2 GR) montrent une MO riche et moyenne en surface avec des proportions respectives de 1,374 et 1,673 % et 0,799 et 0,972 % pour le C et très pauvres en profondeur dont la MO s'estime à 0,327 et 0,24 et le C à 0,262 et 0,3. Pareillement sur les dunes rouges, la MO et le C de Ndoye Diagne (P1) sont très pauvres avec des proportions de 0,233 et 0,4 en surface et 0,11 et 0,189 en profondeur. Les proportions de MO obtenues dérivent en général des restes des récoltes ou des fumiers employés pour fertiliser le sol.

Les propriétés physico-chimiques des sols du Gandiolais: les bases échangeables

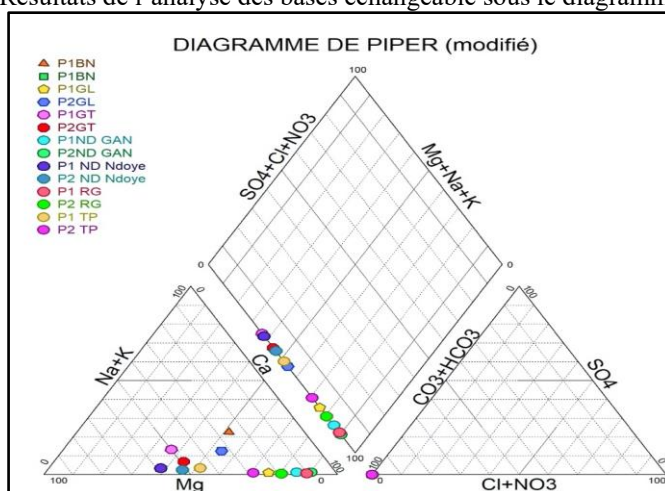
La distribution dégradée du littoral vers le continent du Mg^{2+} s'observe aussi de façon identique avec les autres paramètres des bases échangeables comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et le calcium (Ca^+) (tableau 6). Ainsi, les teneurs de Mg obtenues se retrouvent très hautes sur les dunes bordières dont les échantillons 1 et 2 de Bountou dour et de Gadga Lahrar ont des teneurs respectives exprimées à 8,4, 4,1, 3,4 et 7,1 (meq/100g). Le Mg reste haut aussi bien sur dunes jaunes semi-fixées dont les échantillons de Tougue Peulh supportent un Mg estimé 1,4 et 1,6 (meq/100g) et sur les dunes rouges continentales avec un Mg estimé à 0,8 et 0,6 sur les deux échantillons récoltés à Ndoye Diagne. En ce qui concerne la CEC des formations morpho-pédologiques sur toutes les générations de dunes, hormis l'échantillon 1 de Bountou Ndour avec Na haut estimé à 12, 148 meq/100g, le Na de l'ensemble des échantillons récoltés se révèle très bas avec un Na ne dépassant pas les 2,6 meq/100g. En ce qui concerne le K, il reste très bas sur toutes les formations morpho-pédologiques échantillonnées avec une valeur maximale 3,4 meq/100g notée sur l'échantillon 1 de Bountou Ndour. Par contre le Ca y est haut et moyen sur les dunes bordières littorales avec une de 28,308 et 11,085 meq/100g sur les échantillons de Bountou Ndour ; de 19,509 et 22,773 meq/100g pour les échantillons 1 et 2 de Ndiébène Gandiol, de 18,797 et de 19,292 pour ceux de Gadga Lahrar. Mais, le Ca est à la fois bas et très bas sur les dunes jaunes semi-fixées avec des teneurs respectives obtenues sur les échantillons 1 et 2 de Tougue Peulh (P1 et P2 TP) de 2,762 et 6, 738 meq/100g. A la hauteur des dunes rouges, les échantillons récoltés à Gantour (P1 et P2 GT) développent un Ca très bas mesuré à 2,059 et 1,977 meq/100g et à Ndoye Diagne les échantillons (P1 ET p2 ND Ndoye) révèlent aussi un Ca très bas avec des teneurs respectives estimées à 0,954 et 0,969 meq/100g.

Tableau 6. Les bases échangeables des sols du Gandiolais

Nom échantillon	Na+(meq/100g)	K+(meq/100g)	Ca ²⁺ (meq/100g)	Mg ²⁺ (meq/100g)
P1 BN	12,148	3,490	28,308	8,493
P2 BN	2,593	0,739	11,085	4,122
P1 GL	0,245	0,145	18,797	3,459
P2 GL	4,782	0,523	19,292	7,161
P1 GT	0,763	0,170	2,059	1,695
P2 GT	0,274	0,141	1,977	1,329
P1 ND GAN	0,255	0,127	19,509	1,849
P2 ND GAN	0,255	0,207	22,773	1,294
P1 ND Ndoye	0,056	0,074	0,954	0,890
P2 ND Ndoye	0,012	0,081	0,969	0,661
P1 RG	0,081	0,059	11,952	0,811
P2 RG	0,125	0,055	20,511	2,903
P1 TP	0,040	0,285	2,762	1,464
P2 TP	0,039	0,112	6,738	1,630

Na+: Sodium K+: potassium Ca²⁺ : Calcium Mg²⁺: magnésium

La représentation des résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons prélevés sur les espaces maraichers du Gandiolais avec le diagramme de PIPER montre une prédominance des faciès de calcium, de sodium de magnésium et de potassium. Cette prédominance est plus remarquée sur les sédiments récoltés sur les dunes blanches littorales et sur ceux prélevés aux bords des marais salants. De ce fait, la fig.5 et le tableau 6 renseignent sur les capacités d'échange cationique (bases échangeable) de chaque échantillon avec une interprétation basée sur la méthode de Landon (1984).

Figure 5. Résultats de l'analyse des bases échangeable sous le diagramme de PIPER

Sur une topo-séquence Ouest-est (dunes blanche littorales-dunes jaunes semi-fixées-dunes rouges continentales), chaque paramètre chimique influe différemment selon le secteur et le point de collecte.

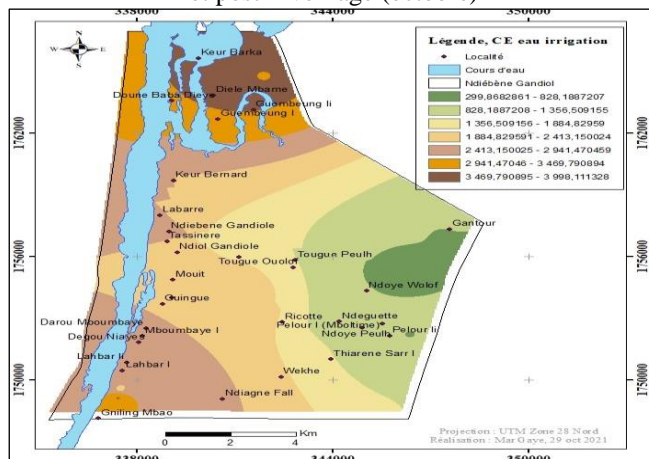
Analyse des mesures in-situ de la qualité des eaux d'irrigation

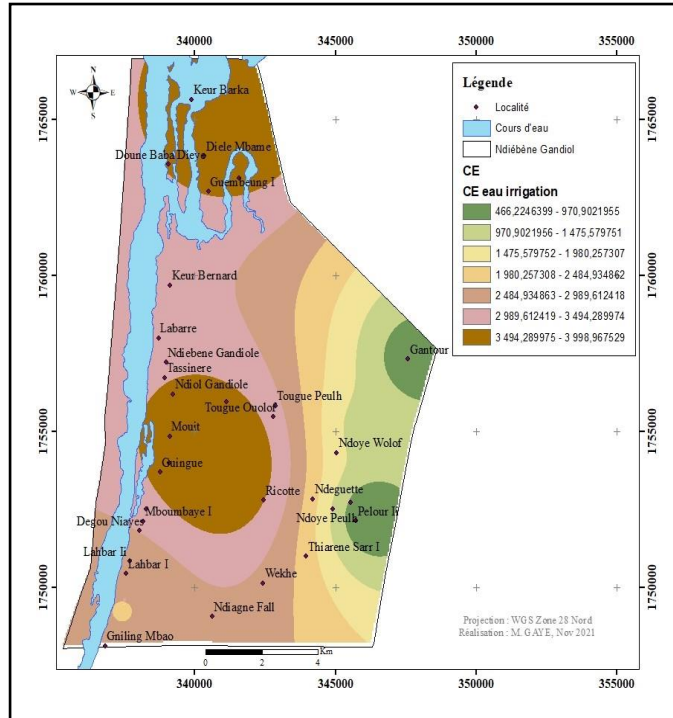
Le suivi de la qualité des eaux d'irrigation à travers la détermination des valeurs de la conductivité électrique (CE) et du potentiel hydrogène (pH) en fin saison sèche et après hivernage, montre les résultats ci-après.

Résultats du suivi in situ de la CE des eaux d'irrigation du Gandiolais

Le suivi du comportement de la salinité des eaux d'irrigation du Gandiolais montre que les teneurs en sel diminuent du littoral vers le continent. De ce fait, les mesures directes en mai 2021 montrent que les eaux sont très salines voire extrêmement salines sous les dunes blanches littorales et les dunes jaunes semi-fixées. En effet, la CE s'évalue à 3999 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sur le puits 1 (P1) de Bountou Ndour, à 3255 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sur le p3 de Gouye Reine et à 2253 sur le p3 de Gadga Lahrar. Elles se révèlent très salines voire légèrement salines sous les dunes rouges continentales. Sur ce, la CE s'estime à 402 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sur le p1 de Pelour, à 256 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sur le p2 de Gantour et à 672 et 661 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sur les p1 et p2 de Ndoye Diagne. Mais, ce caractère extrêmement salin, très salin, légèrement salin des eaux d'irrigation a très peu évolué après l'hivernage (octobre 2021). Par ailleurs, le p1 de Bountou Ndour montre une CE stable estimé à 3999 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, le p2 Gouye reine connaît une légère augmentation avec une CE mesurée à 3999 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et le P2 de GL supporte une CE de 3462 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Sur les latitudes de Pelour, le p1 montre une CE de 466 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, de Ndoye, la CE s'estime à 1282 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et à Gantour les eaux du p salines développent une CE de 573 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Figure 6. Résultats des mesures in situ de la CE des eaux d'irrigation en saison sèche (mai) et post-hivernage (octobre)



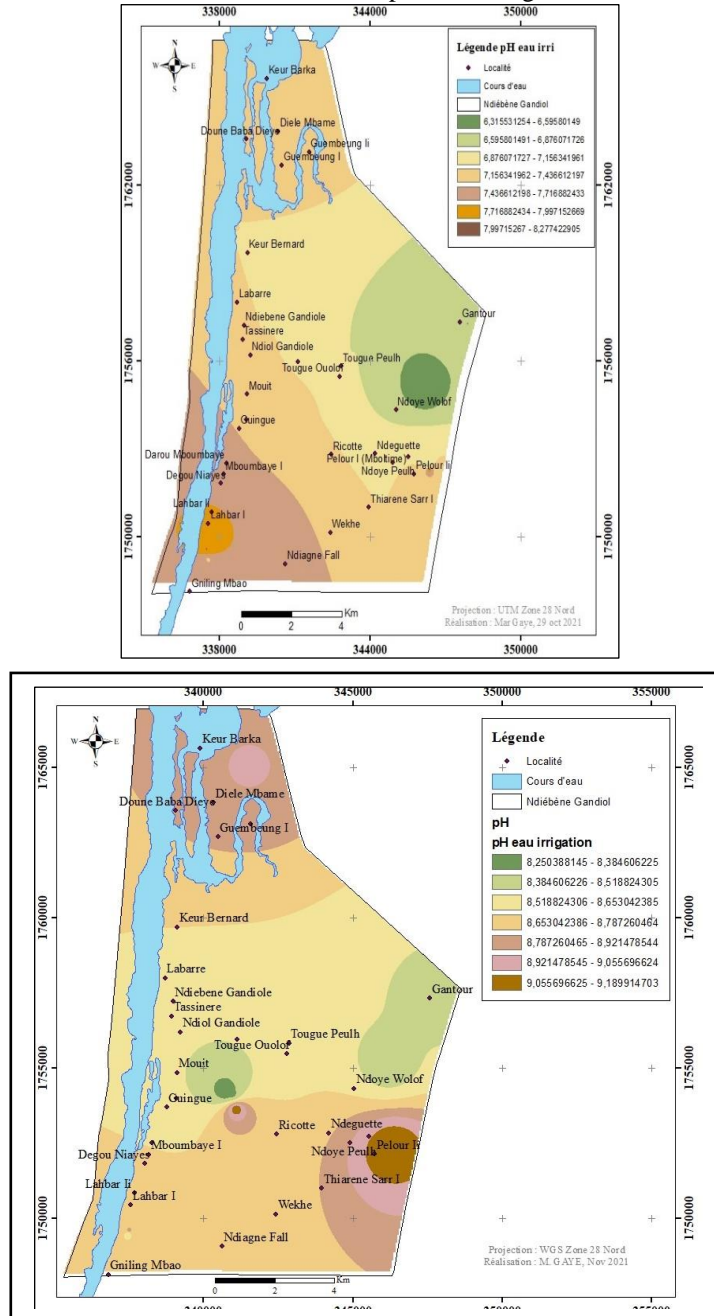


Par conséquent, la détermination de la CE des eaux d'irrigation du Gandiolais pendant la saison sèche révèle que les taux de salinité augmentent du sud vers le nord côté littoral ou sur les dunes blanches bordières. Ils ont tendance cependant à diminuer sur un transect Ouest-est (littoral vers le continent ou dunes bordières-dunes jaunes semi-fixées-dunes rouges continentales). Cette diminution de la salinité des eaux souterraines du Gandiolais du littoral vers le continent, est occasionnée par l'influence directe de la proximité de la mer et des échanges entre réserves d'eaux souterraines et pénétration du biseau salé. Cependant, en période de fin hivernage, de façon paradoxale, les valeurs de la CE connaissent sur certains secteurs une légère augmentation.

Résultats des mesures in situ du pH des eaux d'irrigation du Gandiolais en fin saison sèche

En général, le tableau 7 illustre en détail, les résultats de la mesure de la qualité des eaux d'irrigation du Gandiolais. Ces dernières, d'après, de façon dégradée du littoral vers le continent et sud vers le nord, sont caractérisées par des eaux à pH alcalin, légèrement alcalin, neutre, légèrement acide et acide en mai 2021.

Figure 7. Résultats des mesures in situ du pH des eaux d'irrigation du Gandiolais en fin de saison sèche et en post-hivernage



De ce fait, sous les dunes littorales, le pH des eaux d'irrigation observé est légèrement alcalin à Gadga Lahrar avec des valeurs de 7,7 sur le forage et le p2 et 8,24 sur le p1, à Bountou Ndour le pH se note à 7,4 sur

lep1, 7,38 sur le p2 et 7,19 sur le p3. Sous les dunes jaunes, les eaux se retrouvent aussi légèrement alcalines avec un pH de 7,9 sur le p3 et le forage. A la hauteur des dunes rouges continentales, les eaux adoptent un caractère acido-basique neutre voir légèrement acide et/ou acide. Sur ce, le p1 de Gantour montre un pH estimé à 6,82. A Ndoye Diagne, le pH du p3 s'estime à 5,85, celui du p2 à 7,53. Mais après l'hivernage avec les phénomènes de recharge des eaux souterraines par la pluie et la crue fluviale couplés avec leur rare pompage ; plus avec l'infiltration des particules de sel, certains intrants chimiques dissouts, le non renouvellement des eaux à la circonférence des puits et des rares forages en marche, les eaux se retrouvent alcalines à très alcalines en octobre 2021. Cette situation se généralise sur tous les forages et puits du Gandiolais mesurés. En effet, le pH s'estime à 8,93 sur le P1 de Bountou Ndour, à 8,91 sur le p2 de Gadga Lahrar, à 8,43 sur le p1 de Ndoye Diagne, à 9,19 sur le forage de Pelour, etc., (tableau27).

Discussions

Les résultats du comportement des propriétés physico-chimiques de eaux d'irrigations et des formations morpho-pédologique du Gandiolais ont montré que les paramètres étudiés développent des valeurs plus élevées du littoral vers le continent. La manifestation du phénomène de la salinisation des terres du Gandiolais est très hétérogène. Vu les résultats de l'étude, on ne peut pas généraliser sur une évolution globale de la salinité de la nappe aquifère affectant les sols. D'une zone à l'autre, d'un champ à l'autre, d'un puits à l'autre, les variations de salinité sont considérables et aléatoire, Jacoutot, (2006)

D'ailleurs la dégradation de la qualité des sols des Niayes du Gandiolais en partie sur les phénomènes d'ensablement engendrés par la dynamique éolienne et les eaux de ruissellement accumulant sur les dépressions inter-dunaires plus de particules grossières au détriment des argiles et limons. Les analyses granulométriques montrent que ces dernières font moins de 2% de la taille des échantillons contre une proportion de 20 à 24 % obtenue par Niang. S, (2017). En ce qui concerne les teneurs en matière organique et en carbone plus élevées sur l'horizon 0-15 cm que sur l'horizon 15-30 cm, hormis les proportions exceptionnellement élevées obtenues sur les échantillons de Bontou Ndour prélevés aux abords l'usine de traitement des eaux usées de Saint-Louis, restent faibles à très faibles sur l'ensemble des terrains maraîchers du Gandiolais. Elles se riment avec les résultats obtenus par Niang.S, (20017 qui affirme que globalement, la matière organique et le carbone présentés dans le tableau 5 sont très faibles dans les niayes littorales et continentales. Niang.S, Mais la capacité d'échange cationique des sols est plus faibles sur les dunes rouges

continentales que sur les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches littorales

En ce qui des eaux d'irrigation, malgré des degrés de salinité plus élevés sur le littoral que sur le continent, leur qualité reste très aléatoire sur un même secteur et selon les saisons aussi. Tout comme les relevés d'avril 2006, les relevés de juillet 2006 sont eux aussi marqués par de très fortes différences de salinité à l'échelle locale. Sur un même champ, des puits distants de quelques mètres présentent ainsi fréquemment des salinités variant du triple en une cinquantaine de mètres, parfois bien plus, Jacoutot, 2006

Les résultats du suivi de la CE du pH des eaux d'irrigation étant acide, légèrement acide, neutre voire légèrement basique et/ou légèrement salines, non salines au mois de mai devant alcalin à très alcalin sur les dunes rouges avec une légère variation de la CE infirme les résultats de Jacoutot, (2006) que montrent que le pH est le seul paramètre relativement stable de l'étude. Légèrement basique, il varie de 7,56 à 8,68 sur l'ensemble des eaux analysées. Mais, ils confirment les résultats de Niang.S, (2017) qui montrent que la représentation cartographique des matières dissoutes et du pH met en évidence une variabilité spatiale distincte des teneurs avec des valeurs décroissantes du littoral au continent, ce qui est en cohérence avec la direction du biseau salé et d'une dichotomie de la qualité de l'eau entre le secteur littoral et le secteur continental.

Conclusion

Par conséquent, le suivi du comportement de la CE et du pH des eaux d'irrigation et des formations morpho-pédologiques y compris les paramètres physico-chimiques, idem révèle une importante variabilité spatio-temporelle. En ce qui concerne la teneur des substances solutés sur les terrains agricoles, l'horizon de surface (0-15cm) supporte les taux de salinité les plus élevés généralement dans le Gandiolais comparés aux taux de salinité mesurés sur l'horizon profond (15-30 cm). Les proportions de matière organique et de Carbone total conjuguées avec la détermination des bases échangeables à travers les teneurs en Calcium, en Magnésium, en potassium et en sodium, plus ou moins faibles décrivent une répartition spatio-temporelle en diminution du littoral vers le continent. Sur une toposéquence dunes bordières littorales, dunes jaunes semi-fixées centres et dunes rouges continentales, le secteur littoral Nord-ouest (Bountou Ndour) sur chaque paramètre étudié, détient les plus importantes valeurs. La dégradation chimique étudiée dans les cuvettes agricoles est principalement liée à la minéralisation de la réserve souterraine, aux modifications des conditions hydrodynamiques engendrées par la dynamique migratoire de brèche couplé à la dynamique d'allongement de la bande sable aux droits de

Tassinère qui prive la section sud de la lagune de Mboumbaye des apports d'eaux douces du fleuve.

References:

1. Diallo M. (2006), Aménagement hydrauliques et mutations du Bas Aménagements hydrauliques et mutations du Bas s et mutations du Bas- estuaire du fleuve estuaire du fleuve Sénégal Sénégal: Impacts sur la nappe des sables dunaires du Gandiolais, DEA, Université Cheikh Anta Diop, GiDEL, 79p.
2. Diakhaté M. M., (2012) : « Dynamique naturelle et processus de modélisation de la « brèche » ouverte sur la Langue de Barbarie à Saint-Louis : problématique et préalables méthodologiques », RGLL – ISSN0851-2515 – N°10, décembre 2012, p375-392.
3. Gueye I. (2010), Evolution géomorphologique du littoral nord sénégalais (secteur du Gandiolais), analyse de la dégradation des ressources et perspectives de conservation, mémoire de Master de Géographie, Université Gaston Berger, 147p.
4. Goudiaby et al. 2002 : Effets de la distance de prélèvement par rapport au pied de Eucalyptus camaldulensisdehn sur les paramètres physico-chimiques du sol en zone sud-soudanienne côtière (Sénégal – Base Casamance), European Scientific Journal February 2019 edition Vol.15, No.6 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, p119-135
5. Jacoutot.A(2006), Modification environnementale et ses conséquences dans le bas delta du fleuve Sénégal. Cas du Gadiolais et Parc National dU Diawling, Rapport de stage, Université Joseph Fourier, 174p
6. Kane. A, (1997), « L'après-barrage dans la vallée du fleuve Sénégal : Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologies : Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles », Doctorat de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, 447p
7. Kane. C, (2010), Vulnérabilité du SYstème socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal : De la perception à la gestion des risques naturels, Doctorat de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, 318p.
8. Ndiaye A., (2004), Dynamique fluviale et morphosédimentaire de l'estuaire du fleuve Sénégal après la mise en plage du barrage de Diama, Doctorat de Géoscience, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 149 p.
9. Kane. C, (2010), Vulnérabilité du SYstème socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal : De la

- perception à la gestion des risques naturels, Doctorat de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, 318p.
10. Niang. S, et al., (2014), « Dynamique d'ensablement des Niayes du Gandiol: approche par la quantification des débits solides éoliens et conséquences sur les cuvettes agricoles », Revue de géographie du laboratoire Leïdi-SSN 0851- 2515 - N°12, décembre 2014 p66-83
 11. Niang. S, (2017), Dégradation chimique et mécanique des terres agricoles du Gandiolais (littoral Nord du Sénégal) et analyse des dynamiques actuelles d'adaptation, Doctorat de Géographie, Université Gaston Berger, 357p.
 12. OMVS. (1995), Atelier sur "gestion des réservoirs et problèmes d ' environnement et de santé dans le bassin du fleuve Sénégal, 38p.
 13. Opération PAOS SAED/CR de Ndiebene Gandiolais (no data), Plan d'occupation et d'affectation des sols de la CR de Ndiebene Gandiolais, 61p.
 14. SY A. A., (2013), Dynamique sédimentaire et risque actuel dans l'axe Saint-Louis Gandiol, littoral nord du Sénégal, Doctorat de Géographie, Université Gaston Berger, 328p.
 15. SY B. A., (2009), « L'ouverture de la brèche sur la Langue de Barbarie et ses conséquences », Revue Cogito UGB, p3.
 16. SY B. A., (2010), « L'histoire morphodynamique de Doun Baba DIEYE du Sénégal », Revue Perspectives & Sociétés, N°1, janvier 2010, ISSN 1840-6130, p17.
 17. SY B. A. et SY A. A., (2010), « Dynamique actuelle du cordon littoral de la Grande Côte sénégalaise à Niayame et ses conséquences », RGLL, N°08 déc. 2010 p197-212
 18. SY, A. B., et al (2010), Etude de la dynamique du cordon littoral du Gandiolais sur l'axe Saint-Louis-Niayame (Potou), rapport d'étude UEMOA, 68p.
 19. SY, A. B., et al (2012), Résultat de suivi 2010 2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur La Langue de Barbarie au Sénégal et ses conséquences », Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement, 2013, volume VI, p223-242.
 20. SY, A. B., et al (2013), « Résultats du suivi 2010-2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur La Langue de Barbarie au Sénégal et de ses conséquences », Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement, 2013, volume VII, p223-242
 21. WADE C. T., (2008), Écosystème et Environnement : Problématique de la gestion durable et des usages littoraux au niveau de la Grande Côte sénégalaise, Doctorat de Géographie, UNIVERSITÉ DE PARIS 1 PANTHEON-SORBONNE, 302p.