



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## **Influence Physico-Chimique des Eaux d'Irrigation sur les Terrains Maraîchers des Niayes : Cas 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)

*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/esj.2023.v19n30p26](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p26)

Submitted: 03 August 2023

Accepted: 18 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Gaye M., Niang S. & Tidiane Faye C.A. (2023). *Influence Physico-Chimique des Eaux d'Irrigation sur les Terrains Maraîchers des Niayes : Cas du Gandiolais*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 26. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p26>

### **Résumé**

Situé au sud de Saint-Louis, le Gandiolais accueille la limite nord de la zone humide des Niayes. Actuellement, les eaux d'irrigation et les formations morpho-pédologiques du Gandiolais sont soumises en un processus de dégradation accrue de leurs propriétés physico-chimiques. Le phénomène a été en partie accéléré par les actions anthropiques à travers l'ouverture de la brèche sur la Langue de Barbarie 2003. L'objectif de cette contribution est d'analyser les processus de dégradation de la qualité des eaux d'irrigation et des terres réservées au maraîchage dans le Gandiolais. La démarche méthodologique adoptée consiste d'abord, à prélever des échantillons de sols sur les dunes et les dépressions sur les trois générations de dunes existantes (dunes blanches littorales, dunes jaunes semi-fixées et dunes rouges continentales, les Niayes et les Ndioukis) afin de déterminer les variations spatiales et saisonnières (saison sèche et hivernage) de la Ce, du pH et des bases échangeables ; ensuite, à faire des mesures in situ des eaux de puits et de forages sur les mêmes générations de dunes à l'aide du pH-mètre

et d'un conductimètre. Les mesures directes des eaux d'irrigation permettent d'apprécier la variation saisonnière du niveau acido-basique et de salinité en saison sèche comme en hivernage. L'analyse des résultats montrent que les eaux souterraines et les sols développent une salinité à caractère acido-basique plus élevés du littoral vers le continent. 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 vers les dunes continentales. La nature du pH des unités morphopédologiques 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, dunes, Gandiolais

---

## **Monitoring the Spatio-Temporal Variability of the Physico-Chemical Properties of Irrigation Water and Farmland in the Niayes of Gandiolais between May and October 2021**

*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)

*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**

Located to the south of Saint-Louis, Gandiolais forms the northern boundary of the Niayes wetlands. Currently, the irrigation water and morphopedological formations of the Gandiolais are undergoing a process of increased degradation of their physico-chemical properties. The phenomenon has been partly accelerated by anthropic actions through the opening of the Langue de Barbarie breach in 2003. The aim of this contribution is to analyze the degradation processes affecting the quality of irrigation water and land used for market gardening in the Gandiolais region. The methodological approach adopted consists firstly in taking soil samples from dunes and depressions on the three existing generations of dunes (coastal white dunes,

semi-fixed yellow dunes and continental red dunes, the Niayes and the Ndioukis) in order to determine spatial and seasonal variations (dry season and wintering) in Ce, pH and exchangeable bases; secondly, to carry out in situ measurements of well and borehole water on the same generations of dunes, using a pH meter and a conductivity meter. Direct measurements of irrigation water allow us to assess seasonal variations in acid-base and salinity levels in both dry and wet seasons. The results show that groundwater and soils develop a higher acid-base salinity from the coast to the mainland. Electrical conductivity ranges from 3999 to 256  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , with a pH gradient from 9.19 to 5.86 from coastal to continental white dunes. The pH of morphopedological units shows that they adopt an alkaline to slightly acidic character from coastal to continental and from surface to depth. Their cation exchange capacity remains generally low.

---

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

## 1. Introduction :

La dégradation des terres est un fléau de portée mondiale. Elle constitue l'un des défis écologiques de la planète et menace gravement la production agricole. En 1990, 10,3 millions de  $\text{km}^2$  soit 20% des terres étaient dégradées au niveau mondial, Roose, (2015). Selon le rapport d'ELD (Economie of Land Degradation), (2016), chaque année 12 millions d'ha de terre sont perdus dans le monde. En Afrique, le problème de la dégradation des terres demeure une préoccupation majeure pour le développement économique. Jimbira et Hathie, (2020), 75% à 80% de la superficie cultivée dans le continent serait dégradée avec une perte de 30 à 60 kg de nutriment par ha par an. L'UNCCD, (2013) estime ces pertes de 494 millions d'ha sur 2966 millions d'ha que constitue la superficie totale de l'Afrique. A l'échelle du Sénégal, la dégradation des terres amplifiées par les changements climatiques concerne près de 2/3 des terres arables, soit 2,5 millions d'ha sur 38050000 ha, BM, (2009), Centre Foret, (2016) dont 1510000 ha par érosion hydrique, 645000 ha par salinité et 287000 ha par érosion éolienne. La zone des Niayes plus particulièrement au niveau du Gandiolais subit des phénomènes de dégradation en qualité comme en quantité des eaux douces et des sols.

La commune de Ndiébène 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. Reposant sur trois générations de dune à savoir les dunes rouges ogoliennes, les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches ou dunes vives, elle abrite aussi la section terminale de la région naturelle des *Niayes*. A l'arrière des

dunes littorales semi-fixées, s'égrène le chapelet des dépressions marécageuses appelées *Niayes*, Sy, (2013). Présentes tout au long de la Côte nord, elles occupent une superficie de 2000 km<sup>2</sup> 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, *et al.* (2013). Actuellement le potentiel hydroagricole des Niayes du Gandiolais est affecté par la remontée vers l'hinterland du biseau salé. Occasionné par les actions anthropiques dont les aménagements agricoles du bas -delta, la dynamique migratrice de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie en 2003, le phénomène de dégradation en qualité et en quantité des réserves d'eau douce et des terres agricoles impacte progressivement les rendements du maraîchage du littoral vers le continent. Ainsi aux abords du littoral, Kane, (2010) a enregistré des taux de salinité très élevés en 2006 et 2007, soit plus de 36 et 46g/l. Or plus de 96% des exploitations familiales irriguent leurs parcelles à partir de cette réserve souterraine. Niang, (2017) la tendance alcaline des sols depuis 2003 est particulièrement liée à l'irrigation avec une eau basique. D'ailleurs, la contamination progressive du littoral vers le continent de la lentille d'eau douce et à la fois des formations morpho-pédologiques entraîne des phénomènes d'abandon de parcelles agricoles et puits d'irrigation.

Dans cette logique, cette contribution vise à caractériser la variation saisonnière des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation et des sols. Le travail consiste d'abord, à prélever des échantillons de sols sur les trois générations de dunes existantes et sur leurs couloirs afin d'analyser les teneurs de la CE, du pH et des bases échangeables au laboratoire. Ensuite, il s'agit de faire des mesures directes des taux de salinité et du potentiel hydrogène des eaux d'irrigation du Gandiolais.

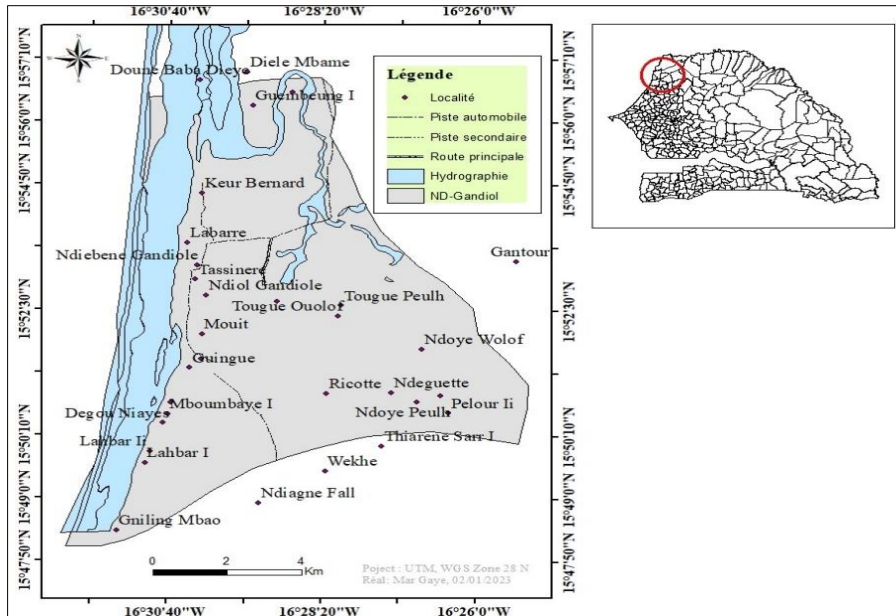


Figure 1. Localisation de la commune de Ndiébène Gandiolais

## 2. Méthodologie :

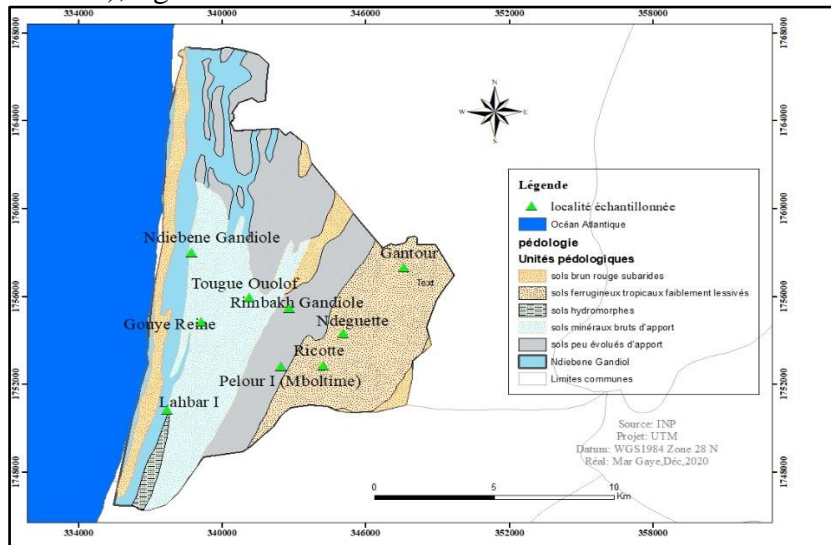
L'approche méthodologique consiste à déterminer les variabilités spatio-temporelles des propriétés physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation du Gandiolais en saison sèche et en hivernage.

### 2.1. Suivi des paramètres physico-chimiques des sols du Gandiolais

L'étude de l'évolution de la qualité des sols du Gandiolais passe par la détermination des taux de salinité à travers le suivi de la CE (conductivité électrique), du potentiel acido-basique (pH), de la MO (matière organique), du C (carbone) et de la CEC (capacité d'échange cationique) avec la détermination des propriétés comme ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}$ ) des sols. L'analyse de ces paramètres physico-chimique suivis permet de caractériser leur variation spatio-temporelle. Le protocole consiste à collecter des échantillons de sols sur trois transects dans le Gandiolais:

- 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.

De ce fait, un total de 40 échantillons a été récolté en surface de 0 à 15 cm et en profondeur de 15 et 30 cm en saison sèche (mai 2021) et en hivernage (octobre 2021), fig.2.



**Figure 2.** Localités échantillonnées

Les propriétés physico-chimiques de ces échantillons de sols ainsi récoltés ont déterminé au laboratoire de l'ISRA (Institut de Recherches Agricoles) de Saint-Louis dont les marges d'erreurs n'ont pas été fournies.

### 2.1.1. Méthode de détermination des paramètres étudiés au laboratoire

- **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 20 g de terre non broyée et 50 ml d'eau distillée et une solution de pH neutre pour stabiliser la mesure. Puis, on agite à l'aide d'un agitateur électrique pendant 1 minute. Après agitation, on laisse le mélange se refroidir. Pour étalonner le pH-mètre, on plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure. Les normes suivantes (Tabl.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. La détermination de la salinité se fait sur l'extrait sol/eau (rapport = 1/10). On met 30 g de terre sur 150 ml d'eau distillée. Puis on agite pendant 20mn à l'agitateur électrique. Après agitation, on laisse la solution reposer, on verse le liquide du mélange dans un bécher. Enfin pour 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 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	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  $C_{org.}$ ) est estimé à 58 % de la matière organique d'où :  $\% C. O \times 1.724 = \% M.O$ . 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 potassium 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 (tabl.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,)**

Sur ce travail, les bases échangeables s'agissent de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  et  $\text{Na}^{+}$ . On utilise la méthode d'acétate de sodium à pH 8,2 pour 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). 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. Pour déterminer les  $Ca^{++} + Mg^{++}$ , 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. 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  $Na^+$ . Le niveau de la CEC (tabl.4) 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
<b>Estimation du <math>Mg^{++}</math></b>	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

## 2.2. Les mesures *in situ* des paramètres chimiques des eaux d'irrigation

Les mesures directes des eaux d'irrigation cibles deux paramètres physico-chimiques à s'avoir la CE et le pH.

Pour la CE, elle permet de déterminer les taux de salinité des eaux d'irrigation. De ce fait, le protocole de collecte de données consiste à plonger un conductimètre dans une eau puisée directement dans un puits ou un forage et de relever directement les valeurs instantanées de salinité.

En ce qui concerne le pH, il renseigne sur la nature acido-basique des eaux d'irrigation. Ainsi à l'aide d'un pH-mètre plongé directement dans un échantillon d'eau d'irrigation, la valeur du pH est recueillie de façon instantanée.

D'ailleurs, pour caractériser la variation spatio-temporelle de la CE et du pH, les mesures ont été effectuées en fin saison sèche (mai 2021) et en fin hivernage (octobre 2021) sur trois transect (fig.2):

- transect 1 (villages côtiers): correspond aux villages situés dans le système des dunes blanches -littorales à savoir 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.

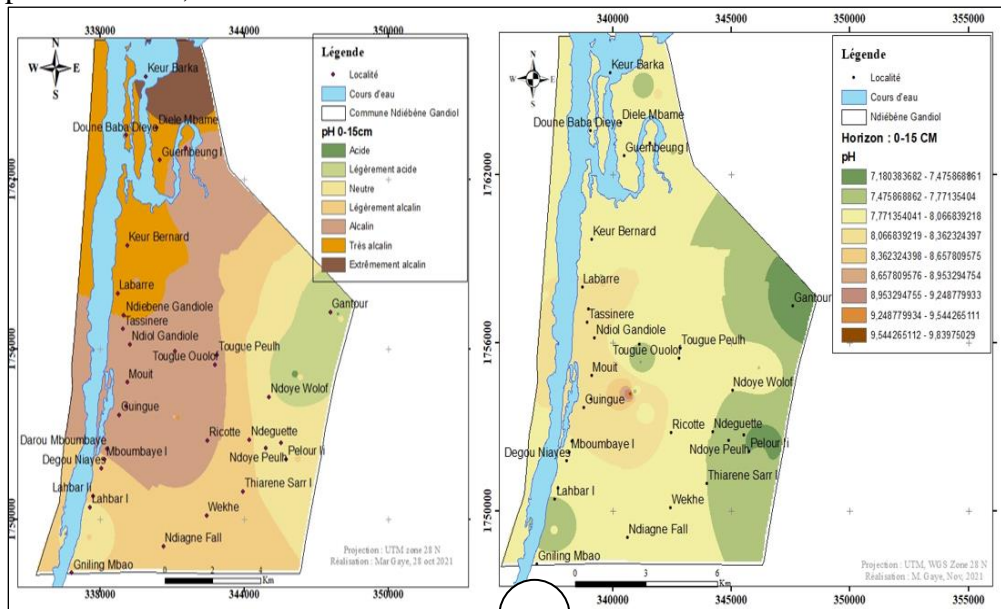


- **transect 3** : correspond aux villages de la zone continentale Gandiolaise (dans les dunes rouges): Gantour, Ndoye Diagne, Pelour.

### 3. Résultats et analyses

#### 3.1. Le pH des formations pédologiques du Gandiolais

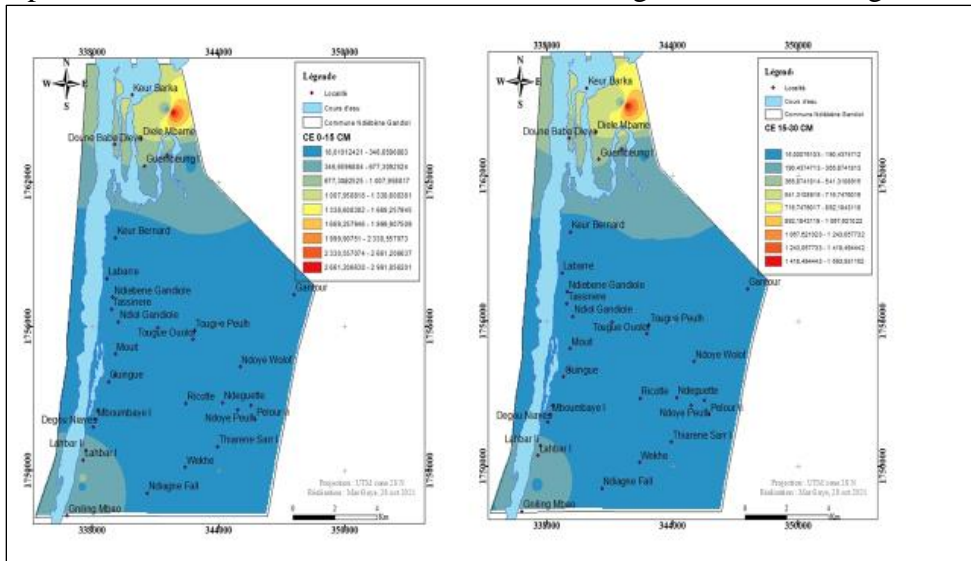
Le caractère acido-basique des formations pédologiques du Gandiolais s'observe à travers des sols extrêmement alcalins, très alcalin et légèrement alcalin sur les générations des dunes littorales blanches et dunes jaunes semi-fixées et des sols légèrement alcalins, neutres, légèrement acides et acides sur les dunes rouges continentales. Ainsi, l'analyse des résultats du suivi du pH des sols montre que les propriétés acido-basiques diminuent du littoral vers le continent et de la saison sèche vers l'hivernage (fig. 2). En effet, le sol extrêmement alcalin en mai à Bountou Ndour au nord avec un pH estimé 9,33, devient légèrement acide avec un pH de 7,61 en octobre. En ce qui concerne le caractère des échantillons prélevés sur les dunes semi-fixées, le pH y reste pratiquement invariable aussi bien en fin saison sèche qu'en hivernage. Ainsi, le pH de l'échantillon de Gouye Reine passe de 8,7 en mai à 7,91 en octobre. Par contre, le comportement acido-basique des sols couvrant les dunes rouges continental décrit un caractère neutre et légèrement acide observé en mai à 6,55 (à Gantour). Mais, il devient légèrement alcalin après hivernage avec un pH estimé à 7,25.



**Figure 3.** Distribution du pH dans en saison sèche et post-hivernage, a) en mai 2021, b) en octobre 2021

### 3.2. 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 Gandiolais, en mai 2021

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  $2994 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et de salin en profondeur dont la CE s'estime à  $1595 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . 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  $383 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et  $556$  et  $353 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . 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  $15 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et  $22$  et  $15 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (table. 5).

**Table 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

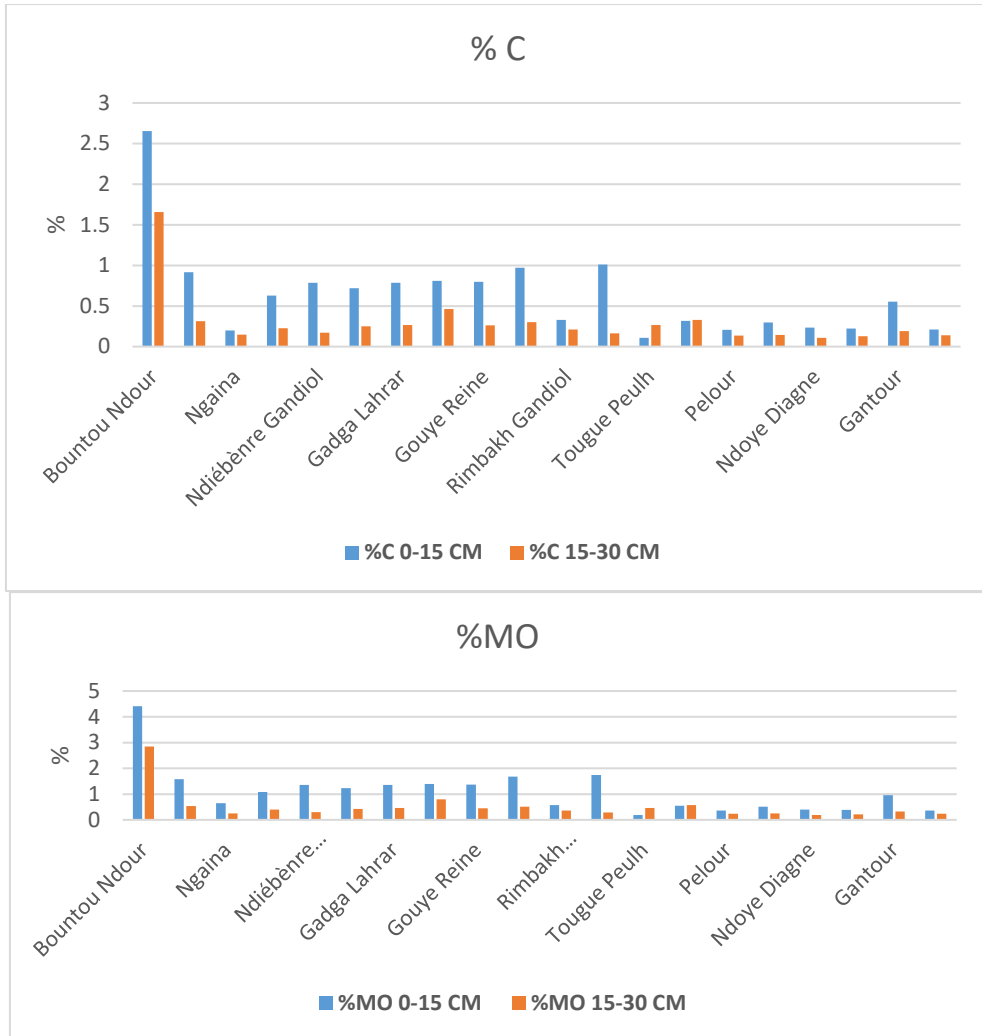
Source : résultats de l'analyse de la CE des échantillons de sol au laboratoire en mai 2021

### **3.3. 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.

#### **3.3.1. 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 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 pauvre 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 employer pour fertiliser le sol.

### 3.4. 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 ( $Ca^+$ ) (tabl. 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 06 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, se révèle très base avec un Na ne dépassant pas les 2,6 meq/100g. En ce qui est du K, il reste très bas sur toutes les formations morpho-pédologiques échantillonnées avec une valeur maximales 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 à Bountou Ndour ; de 19,509 et 22,773 meq/100g à Ndiébène Gandiol. Mais, le  $Ca^+$  est à la fois bas et très bas sur les dunes jaunes semi-fixées avec des teneurs respectives obtenues à Tougue Peulh (P1 et P2 TP) de 2,762 et 6, 738 meq/100g. Sur les dunes rouges, le Ca est très bas mesuré à 2,059 et 1,977 meq/100g à Gantour, à 0,954 et 0,969 meq/100g à Ndoye Ndiagne.

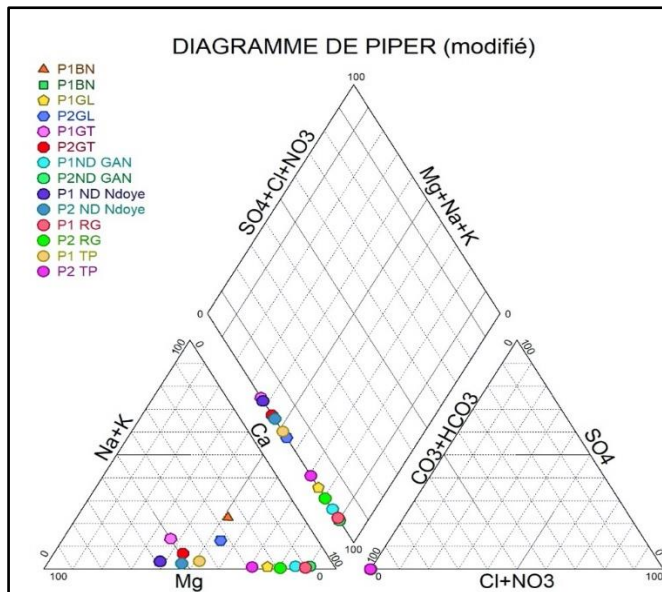
Tableau 6. Les bases échangeables des sols du Gandiolais

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

<b>P1 RG</b>	0,081	0,059	11,952	0,811
<b>P2 RG</b>	0,125	0,055	20,511	2,903
<b>P1 TP</b>	0,040	0,285	2,762	1,464
<b>P2 TP</b>	0,039	0,112	6,738	1,630

Na<sup>+</sup>: Sodium K<sup>+</sup>: potassium Ca<sup>2+</sup>: Calcium Mg<sup>2+</sup>: 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 influence différemment selon le secteur et le point de collecte.

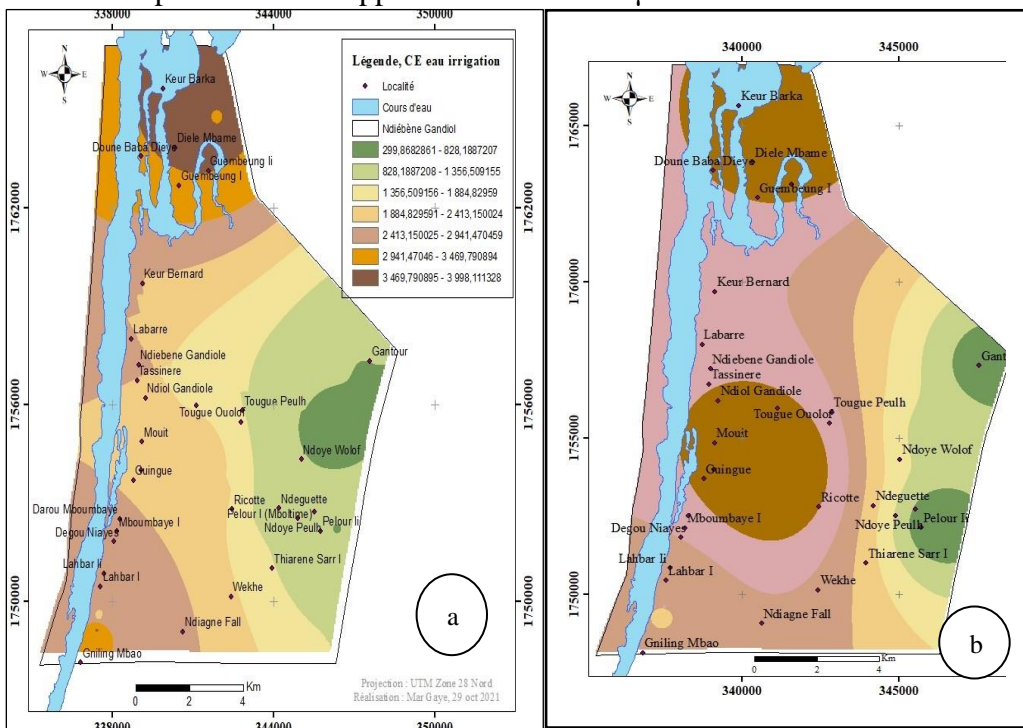
#### 4. Analyse des mesures *in-situ* de la qualité des eaux d'irrigation

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.



#### 4.1. 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  $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sur le puits 1 (P1) de Bountou Ndour, à  $3255 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sur le p3 de Gouye Reine et à  $2253 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  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  $402 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sur le p1 de Pelour, à  $256 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sur le p2 de Gantour et à  $672$  et  $661 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  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  $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , le p2 Gouye reine connaît une légère augmentation avec une CE mesurée à  $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et le P2 de GL supporte une CE de  $3462 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Sur les latitudes de Pelour, le p1 montre une CE de  $466 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , de Ndoye Diagne, la CE s'estime à  $1282 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et à Gantour les eaux du p salines développent une CE de  $573 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .



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



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

La figure 7 illustre en détail, les variations spatio-temporelles du potentiel hydrogène des eaux d'irrigation du Gandiolais. Ainsi de façon dégradée du littoral vers le continent et sud vers le nord, elle caractérise des eaux à pH alcalin, légèrement alcalin, neutre, légèrement acide et acide en mai 2021.

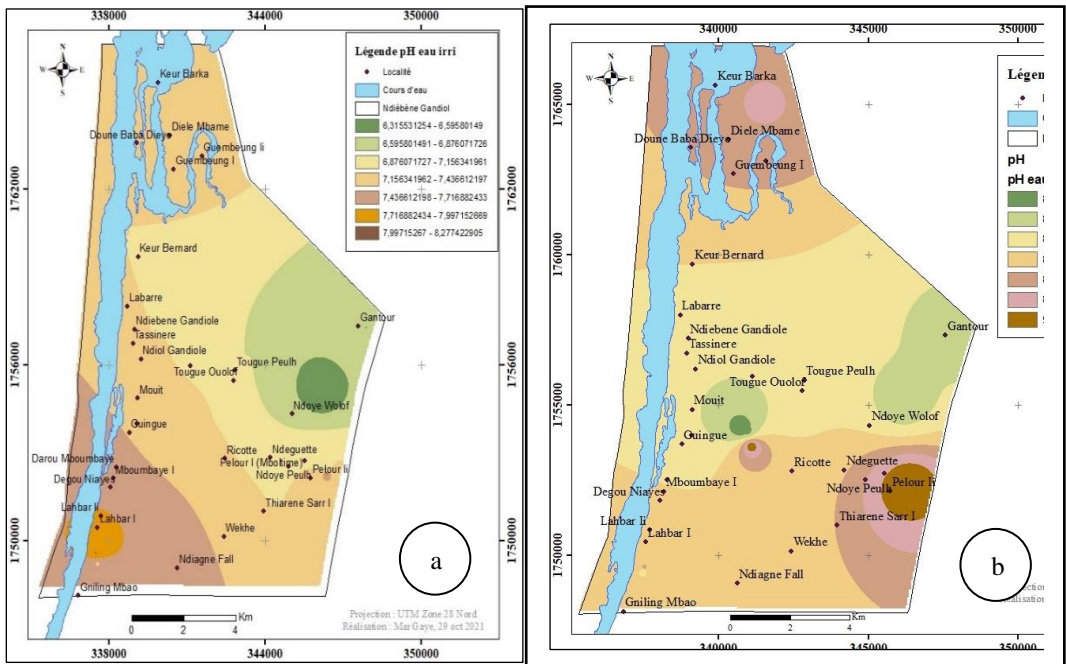


Figure 7. Résultats des mesures *in situ* du pH des eaux d'irrigation du Gandiolais, a) en fin de saison sèche et b) en post-hivernage

De ce fait, sous les dunes littorales, le pH des eaux d'irrigation décrit un caractère légèrement alcalin en saison sèche avec des valeurs comprises entre 8,24 et 7,19. 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 avec des valeurs mesurées entre 7,53 et 5,85. 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 sur toute la zone. 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.

## 5. Discussions

L'analyse des résultats du suivi du comportement des propriétés physico-chimiques d'eaux d'irrigations et des formations morpho-pédologiques du Gandilolais a 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 aléatoires, Jacoutot, (2006). Cette situation est révélée par les résultats obtenus à Gadga Lahrar dont la CE varie de 3462 à 1660  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  du puits 2 au puits 3 en saison sèche. Les résultats du suivi du pH des eaux d'irrigation révélant un caractère acide, légèrement acide, neutre voire légèrement basique et/ou légèrement salines, non salines au mois de mai devenant alcalin à très alcalin sur les dunes rouges avec une légèrement variation de la CE infirment les résultats de Jacoutot, (2006). Ce dernier affirme que le pH est le seul paramètre relativement stable. Légèrement basique, il varie de 7,56 à 8,68 sur l'ensemble des eaux analysées. Alors que le pH du même puits à Ndoye Diagne varie de 6,52 à 8,43 entre mai et octobre 2021. 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.

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, (2014). En ce qui concerne les teneurs en matière organique et en carbone, elles restent 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 de l'usine de traitement des eaux usées de Saint-Louis dont le carbone et la matière organique s'estiment respectivement à 4,4 % et 2,84%, les teneurs y sont très faibles sur l'ensemble des terrains maraîchers du Gandiolais. Comparées avec les résultats de Niang, (2017), les teneurs en carbone et en matière organique tendent à diminuer tout en restant plus élevée en surface qu'en profondeur. En effet, Niang, (2017) estiment les proportions de carbone à 0,404 % contre 0,233 % et de matière organique à 0,686 % contre 0,4% à Ndoye Diagne. Globalement, la matière organique et le carbone sont très faibles dans les

niayes littorales et continentales. Mais la capacité d'échange cationique des sols est plus faible sur les dunes rouges continentales que sur les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches littorales.

## **Conclusion**

Ce travail apparaît comme la compréhension des polluants physico-chimiques de la lentille d'eau douce souterraine et des sols du Gandiolais. La méthodologie a consisté à l'étude du comportement spatio-temporel de la CE, du pH et des bases échangeables sur les pratiques maraîchères entre mai et octobre 2021. Les résultats ont révélé que dans la zone les formations morphopédologiques 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. 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 épousent aussi la même répartition spatiale. Les processus de contamination progressive des eaux d'irrigation du Gandiolais révèlent 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 ou de la brèche et des échanges entre réserves d'eaux souterraines et pénétration du biseau salé. 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 couplée avec 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.

**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. BM, (2009). Dégradation des terres au Sénégal, *1p*.
2. ELD, (2016). Initiative « Économie de la dégradation des terres », *Rapport pour le secteur privé*, 60p.
3. Goudiaby, A. O. K., Dhiediyou, S., & Diouf, P., (2002). Effets de la distance de prélèvement par rapport au pied de *Eucalyptus camaldulensis* dehn 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* <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p119>
4. Jimbira, S.S., & Hathie, I, (2020). L'avenir de l'agriculture en Afrique subsaharienne, Policy brief No . 2, p20.
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, 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*.
7. Niang, S., Sy, A. A., & Sy, B. A., (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*.
8. 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*.
9. *Roose, E.*, (2015). Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens:
10. -Contribution à l'agro-écologie, *547p*.
11. 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*.
12. Sy, B. A., (2010). L'histoire morphodynamique de Doun Baba DIEYE du Sénégal, *Revue Perspectives & Sociétés, N°1, janvier 2010, ISSN 1840-6130, p17*.

13. Sy B. A., & 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
14. SY, B. A., Bilbao, A. I., Sy, A. A., Perez, S. I., & Valido, R. S., (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, <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3569>