

Les Niayes du Littoral Nord du Senegal: Processus de Mise en Place, Salinisation des eaux Souterranies et des Sols

Marième Fall
Souleymane Niang
Boubou Aldiouma Sy

Université Gaston Berger (UGB),
UFR Lettres et Sciences humaines, Laboratoire Leïdi «DTD »,
ED des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS)

[Doi: 10.19044/esipreprint.11.2022.p199](https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2022.p199)

Approved: 05 November 2022
Posted: 07 November 2022

Copyright 2022 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fall M., Niang S. & Sy B.A. (2022). *Les Niayes du Littoral Nord du Senegal: Processus de Mise en Place, Salinisation des eaux Souterranies et des Sols*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2022.p199>

Résumé

L'espace couvert par les *Niayes* fait partie des secteurs les plus fertiles du pays. Il subit actuellement un processus de dégradation des systèmes de production dont la salinisation de la nappe constitue le facteur dominant. L'objet de cette contribution est d'analyser la salinisation des eaux souterraines et des sols dans les *Niayes* et particulièrement dans les différents sites d'étude notamment le lac Wouye, le lac Tanma, les villages de Taré et de Darou Mboumbaye. La méthodologie déployée est essentiellement basée sur le prélèvement et l'analyse au laboratoire. Elle a permis de mesurer la salinité des sols et des eaux souterraines de la nappe des sables quaternaires en 2010 et 2018. Ainsi, les résultats démontrent une dégradation progressive des eaux d'irrigation et une faible salinité dans le complexe absorbant. Par conséquent, la quasi-totalité des terres est abandonnée dans les sites étudiés à cause de l'alcalinisation mais surtout la salinisation des eaux souterraines qui constitue la principale source d'irrigation. Ainsi, un nombre important de maraîchers a perdu une bonne partie des terres agricoles : lac Wouye (60 %), lac Tanma (50 %), Taré (40 %), Darou Mboumbaye (80 %). Si les modifications du lac Wouye et Tanma ont entraîné la perte progressive de leur valeur naturelle et des activités maraichères, les sites de Taré et de Darou Mboumbaye sont, en revanche, menacés par la migration vers le sud

de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie. Dans ce contexte, la maîtrise des modifications environnementales et de l'irrigation constitue les premiers facteurs d'amélioration de la production maraichère.

Mots-clés: *Niayes*, salinisation, maraichage, sol, irrigation

Niayes of the Northern Coast of Senegal: Process of Establishment, Salinization of Groundwater and Soils

Marième Fall
Souleymane Niang
Boubou Aldiouma Sy

Université Gaston Berger (UGB),
UFR Lettres et Sciences humaines, Laboratoire Leïdi «DTD »,
ED des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS)

Abstract

The area covered by the Niayes is one of the most fertile areas of the country. It is currently undergoing a process of degradation of the production systems of which the salinisation of the water table is the dominant factor. The purpose of this contribution is to analyze the salinization of groundwater and soils in the Niayes and particularly in the various study sites including Lake Wouye, Lake Tanma, the villages of Taré and Darou Mboumbaye. The methodology deployed, mainly based on sampling and laboratory analysis, made it possible to measure the salinity of the soils and groundwater of the quaternary sands table in 2010 and 2018. The results show a gradual degradation of irrigation water and a low salinity in the absorbent complex. Consequently, almost all of the land is abandoned in the sites studied because of alkalization but above all the salinization of groundwater which constitutes the main source of irrigation. A number of market gardeners have lost a good part of their land (Lake Wouye 60 %, Lake Tanma 50 %, Taré 40 %, Darou Mboumbaye 80 %). If the modifications of Lake Wouye and Tanma have led to the gradual loss of their natural value and market gardening activities, the sites of Taré and Darou Mboumbaye are, on the other hand, threatened by the migration to the south of the breach opened on the Langue de Barbarie. Therefore, controlling irrigation is the first factor in improving market gardening production.

Key words: Niayes, salinization, market gardening, soil, irrigation

1. Introduction

La salinisation et l'acidification sont parmi les principaux facteurs de dégradation des terres, de réduction des superficies cultivables et de la baisse des rendements au Sénégal. L'acidification touche les sols du domaine fluvio-marin, de la Vallée du fleuve Sénégal (400 000 ha), de la Casamance (environ 400 000 ha) du Sine Saloum (230 000 ha) et dans les *Niayes* (de 5 à 8 000 ha) (Sadio, 1991). Les sols sont de moins en moins aptes à la production et les conséquences sur les rendements sont plus importantes. Parmi les zones agro écologiques du Sénégal, la zone des *Niayes* est sensiblement affectée, même si les estimations montrent qu'elle est la moins touchée. Le processus de dégradation prend de l'ampleur alors qu'une grande partie de la production maraîchère du pays provient des *Niayes*, soit environ 60% de la production maraîchère nationale (SONED, 2013). Depuis quelques années, le maraîchage est compromis dans la zone à cause de la remontée saline accentuée par la pression exercée sur la nappe phréatique (Faye, 1995, Fall, 2012).

Dans les *Niayes* du Sénégal, les ressources en eau proviennent essentiellement de la nappe phréatique des sables du Quaternaire. Ce potentiel est menacé par une surexploitation qui se manifeste par un rabattement progressif en profondeur de la nappe. Toutefois, la faible profondeur de la nappe, associée aux températures de plus en plus élevées et à une plus forte intensité des vents, entretient une forte demande évapotranspiratoire, donc la remontée capillaire importante dans les dépressions en saison sèche qui se concentre *in situ* et deviennent sodiques et alcalines. Le niveau de l'eau dans les puits et les "*céanes*"¹ se situe généralement entre 3 et 10 mètres. En revanche, au niveau des puits situés plus à l'intérieur (sommet des dunes), le toit de la nappe phréatique oscille entre 15 et 30 mètres.

Les *Niayes* constituent un espace en profonde mutation dont les contraintes majeures sont l'ensablement, la salinisation des eaux, l'alcalinisation des terres et l'érosion. Actuellement, les *Niayes* sont soumises à un problème de salinisation, avec une réduction des espaces maraîchers. Cette situation est ressentie dans les différents sites d'étude : lac Wouye, lac Tanma, Taré et Darou Mboumbaye. Dans ces espaces, les terrains maraîchers disparaissent à cause de la diffusion du biseau salé, justifiant l'abandon de plusieurs parcelles agricoles.

L'objectif de cet article est de caractériser la salinité des sols et des eaux d'irrigation dans les *Niayes* à partir des quatre sites d'étude dont le lac Wouye, le lac Tanma, les sites de Taré et de Darou Mboumbaye. Ces sites

¹ *Céanes* : puits traditionnel creusés dans les secteurs où la nappe n'est pas profonde

couvrent les quatre régions où s'étendent les *Niayes* et permettent d'analyser la minéralisation notée dans les différents systèmes de production.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La région des *Niayes* se situe le long de la côte Nord du Sénégal, s'étend du Gandiolais (Saint-Louis) à la presqu'île du Cap Vert (Département de Pikine). Elle est localisée entre $14^{\circ}34'23''$ N et $16^{\circ}05'02''$ N, et entre $16^{\circ}01'59''$ W et $17^{\circ}31'46''$ W, sur plus de 180 km de longueur et 30 à 35 km de largeur [4], avec une superficie d'environ 3 090 km² (Aguiar et Augustin, 2004). La figure 1 présente la zone des *Niayes* au sein des zones agroécologiques du Sénégal.

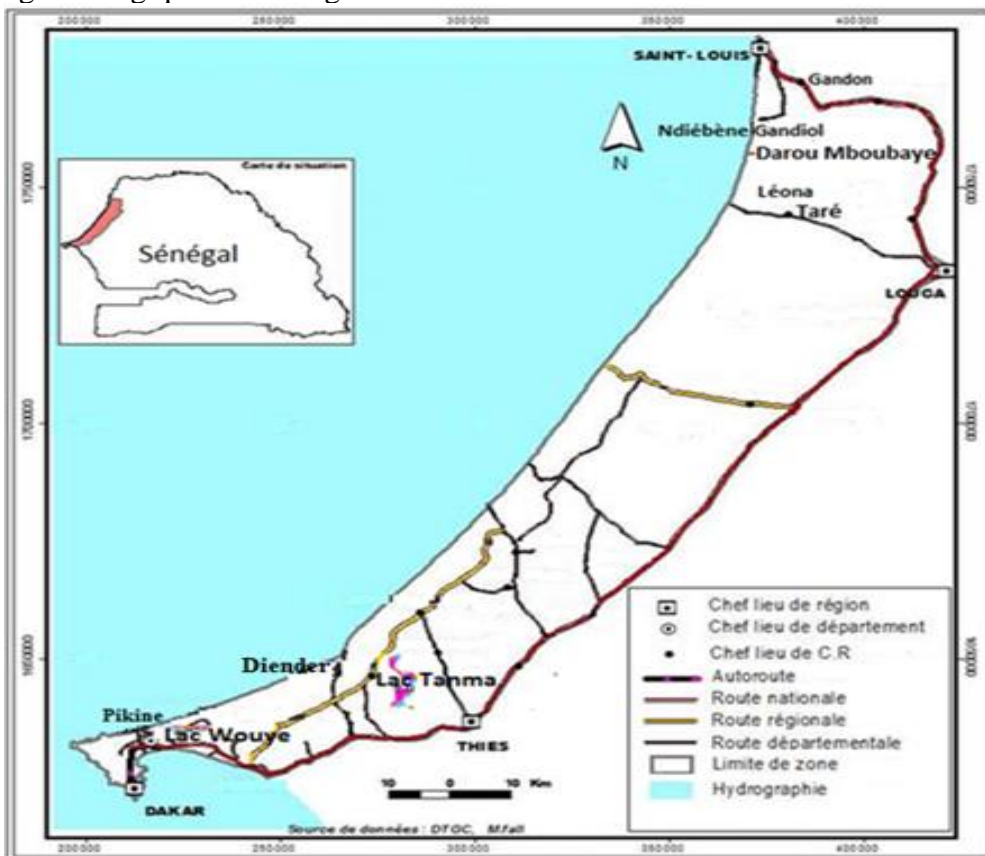


Figure 1. Localisation du milieu d'étude

Appartenant au domaine climatique des canaries, la proximité de l'océan Atlantique favorise une température moyenne annuelle relativement basse, de 24°C à 28°C . Le régime pluviométrique est caractérisé par une saison pluvieuse qui s'étend entre les mois de juillet-septembre jusqu'en octobre avec des cumuls annuels d'environ 500 mm, au sud, et 300 mm, au

nord en 2009. Les *Niayes* bénéficient d'une nuance climatique à cause des alizés maritimes et des courants océaniques. Ce qui atténue les contrastes thermiques saisonniers du climat sahélien zonal, qui s'estompe au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte.

2.2. Sols des Niayes: processus de mise en place et potentiel agronomique

Les sols du Sénégal sont des héritages car les conditions bioclimatiques ayant présidé à leur mise en place n'existent plus. C'est le cas des sols des *Niayes* dont la formation se confond au *pluvial Tchadien*, de 12 000 à 8 000 ans *BP*.

2.2.1. Processus de mise en place des Niayes

La paléoclimatologie révèle qu'à la latitude du Sénégal septentrional, le climat passe progressivement d'un épisode morphoclimatique aride, de 22 000 à 12 000 ans *BP*, à un climat soudanien auquel succède un climat guinéen vers 9 000 - 8 000 ans *BP* (Aguiar, 2009, Lézine, 1986). Des étangs et des mares apparaissent alors dans les dépressions interdunaires du système ogolien alors soumis à un Pluvial. Le Post-Ogolien ou Tchadien est une période de transgression marine marquée par un climat humide à précipitations bien étalées. Durant le Tchadien, le secteur du littoral était alors en permanence inondé. Aussi deux strates prenaient-ils pied dans l'eau.

La strate arborée est dominée par *Elaeis guineensis* et l'espèce *Borassus flabellifer* ; la strate herbacée se compose d'hydrophytes de type *Typha australis*, *Typha elephantina*, *Nymphaea lotus*, *Sporobolus spicatus*, etc. Cette végétation était très diversifiée car plus de 150 espèces ont été identifiées par LEZINE (1986) dans le diagramme pollinique de Touba Ndiaye. Cette diversité floristique explique le piégeage massif d'une biomasse végétale de la forêt Tchadienne, justifiant la présence de sols hydromorphes organiques, alternant selon l'évolution géomorphologique récente marquées par des remaniements éoliens (échanges sédimentaires), aux profils plutôt sableux, poreux.

Au regard de leur fonction économique, plusieurs types de *Niayes* peuvent être discriminés dans cette zone écogéographique : les dépressions, qui sont logées entre dunes ogoliennes classiques ; les dépressions qui se trouvent à l'intérieur des dunes jaunes ; les dépressions assurant le contact entre le système vif et les dunes jaunes semi-fixées (*Ndioukis*). Les *Niayes* peuvent correspondre aussi aux vallées fossiles. C'est le cas de certaines unités du secteur de Mboro (Wade, 2003). Ces unités représentent d'anciens lits fluviaux à orientation EW avec des couloirs bien marqués sur la topographie.

Les sols des *Niayes* peuvent être aussi hydromorphes organiques, voire tourbeux notamment dans les secteurs de Mboro, de Lompoul et de Potou où la nappe phréatique rend leur mise en valeur difficile malgré leur richesse en matière organique sur l'horizon de couleur grise à noire comme l'indique les sols des *Niayes* de Potou.

Photo 2. Échantillon de tourbe, Niayes de Potou



Source : Cliché SY B. A. (2006)

Des fibres végétaux en décomposition sont nettement visibles sur le corps de l'échantillon de droite. Les tourbes se forment encore de nos jours dans des prairies marécageuses, dans des zones de collectes fermées où les conditions sont favorables.

Au total, les *Niayes* sont avant tout caractérisées par des sols hydromorphes très organiques, très humifères à tourbeux. Mais, des relations plus ou moins évidentes avec le milieu marin (existence d'une nappe salée sous-jacente et la nappe d'eau douce, communication ancienne ou actuelle temporaire avec la mer), provoquent dans ces sols des phénomènes de salure conduisant à la formation de sols halomorphes assez répandus dans l'ensemble des *Niayes*. Ce qui affecte très manifestement le potentiel agronomique des *Niayes*.

2.2.2. Potentiel agronomique des *Niayes*

Le long du littoral Nord du Sénégal, s'étendent les *Niayes* où l'irrigation y est pratiquée grâce à l'exploitation des eaux de la nappe phréatique peu profonde des sables du Quaternaire. Les risques de remontées salines sont importants dans certains endroits sensiblement sollicités par des usagers dans un environnement sédimentaire plutôt filtrant (poreux) où le potentiel irrigable est estimé à quelque 13 000 ha.

Sur le plan pédologique, les *Niayes* sont caractérisées par des sols profonds, de 1 à 2 m, hydromorphes à organiques. Des mesures *in situ* dans les *Niayes* de Rao révèlent un profil lacunaire à horizons « AC ». L'épaisseur de l'horizon « A » descend entre -60 et -110 cm. Cette couche humifère repose sur la roche-mère « C » constituée du sable blanc fin. À Potou, cet horizon va jusqu'à -70 cm. Sa tonalité est grise à noir foncé, annonçant une grande concentration de matières organiques (MO), de limons et d'argiles (fractions fines). La fraction sableuse (fraction grossière), comprise entre les mailles 0,032 mm et 0,5 mm est bien représentée. De cette particularité complexe des *Niayes* découle l'approche méthodologique.

Les profils observés à Potou de 0 à 40 cm enregistrent respectivement des matières organiques de 6,58 % (P1), 6,36 % (P2), 7,49 % (P3), 6,81 % (P4) et 5,90 % (P5). Ces valeurs de MO diminuent après 30 cm de profondeur et dépassent largement les mesures dans les *ndioukis* et les *niayes* typiques. Du point de vue salinité, ces tourbes enregistrent des niveaux élevés avec respectivement des CE de 1,80 ms/cm (P1), 2,16 ms/cm (P2), 2,85 ms/cm (P3), 2,96 ms/cm (P4) et 1,39 ms/cm (P5). À 40 cm, la salinité est presque homogène de la même manière que le pH, qui reste compris entre 3,8 et 4,3.

Cependant, dans les *niayes* du Nord, on note de faibles pourcentages de la matière organique. Avec un taux estimé à 0,75 %, elle est essentiellement localisée dans la partie superficielle et diminue avec la profondeur. Respectivement, on enregistre 1,18 % à Gadga Lahrar, 0,76 % à Ndiébène Gandiol, 0,80 % à Pelour, 0,87 % à Rimbakh Gandiol, 0,82 % à Ndeugnette, 0,91 % à Bountou Ndour, 0,80 % à Ndoye Diagne, 1,14 % à Gouye Reine et 0,89 % à Gantour. Tous les échantillons ont montré que l'horizon 0-15 cm est plus riche en matières organiques. Les faibles pourcentages de carbone enregistrés (Gadga 0,68 %, Ndiébène Gandiol 0,44 %, Pelour 0,47 %, Rimbakh Gandiol 0,50 %, Ndeugnette 0,47 %, Bountou Ndour 0,53 %, Ndoye Diagne 0,47 %, Gouye Reine 0,66 % et Gantour 0,49 %) expliquent nettement cette faiblesse en matières organiques. Elle se limite au maximum à 50 cm de profondeur de sorte que lorsque de nouveaux apports éoliens sableux de type quartz (siliceux) très peu fertiles se déposent pour changer sensiblement la composition granulométrique des sols dans les cuvettes, le marâchage devient quasi impossible ou exige des quantités importantes d'apports d'amendements en fumure et en engrais chimiques.

Les résultats montrent que les sols sont essentiellement calcimorphes. La morphologie et les propriétés dynamiques sont marquées par l'abondance d'ions bivalents (Ca^+ et Mg^+) sous forme de carbonates. Le calcium est estimé respectivement 2,89 méq/100 g à Gadga Lahrar, 2,8 méq/100 g à Bountou Ndour, 1,98 méq/100 g à Keur Dièye, 1,2 méq/100 g à

Ndiébène, 2,68 méq/100 g à Ngaina, 1,72 méq/100 g à Ricotte, 4 méq/100 g à Rimbakh, 1,50 méq/100 g à Gantour, 1,37 méq/100 g à Ndeuguette et 3 méq/100 g à Gouye Reine.

2.3. Méthodologie

La méthodologie repose sur la connaissance du rapport de concentration en ions conservatifs dans le sol et dans l'eau d'irrigation prélevée dans les puits. Elle requiert ainsi une estimation du niveau de concentration ionique de l'eau d'irrigation et du sol irrigué. La collecte des données a été suivie par la mesure des paramètres au laboratoire de fertilité des sols : la conductivité électrique (CE) en 2010, autres paramètres physico-chimiques en 2018.

2.3.1. Echantillonnage

L'échantillonnage du sol et des eaux (lacs, puits, fleuve) a été fait en saison sèche, pendant les mois d'avril et de mai 2010, pour mesurer le pH et la conductivité électrique (CE), au laboratoire de fertilité des sols de la SAED. En 2018, les prélèvements ont été effectués avant le début des pluies (juillet).

En ce qui concerne les sols, l'échantillonnage a été effectué sur les périmètres maraîchers cultivés et abandonnés à cause de la salinisation. Dans le lac Wouye et celui de Tanma, les parcelles ont été choisies en fonction de leur proximité avec ces derniers. En revanche, à Taré et à Darou Mboumbaye, le choix du prélèvement est guidé par les parcelles cultivées et la proximité de la lagune de Mboumbaye.

Les parcelles abandonnées ont été choisies en fonction de leur proximité par rapport aux parcelles cultivées. Pour tous les prélèvements, un échantillonnage ciblé (type au jugé) est effectué. Le type d'échantillonnage choisi, prend en compte l'influence des lacs, du fleuve (lagune de Mboumbaye dans le secteur de Taré et Darou Mboumbaye) et du biseau salé sur les faciès chimiques de l'eau d'irrigation.

Ainsi, pour chacun des sites, 7 points de repère, distants de 10 m chacun en 2010, ont été choisis pour mesurer la CE. Pour les prélèvements de 2018, 3 points de repère, distants d'au moins 100 m ont été identifiés sur le même site pour estimer les valeurs de la salinité.

Pour la détermination de la salinité des sols, les prélèvements ont concerné les niveaux de 0 à 15 cm (horizon de surface) et 15 à 30 cm (horizon inférieur) pour le prélèvement en profondeur, correspondant au volume racinaire des cultures maraîchères : l'oignon, le piment, le chou, la carotte, l'aubergine, etc.

Au total, 56 échantillons en 2010 et 24 échantillons en 2018 ont été prélevés. Les échantillons d'eau (6 en 2010 et 12 en 2018), viennent des

puits des parcelles cultivées et non cultivées, sur le lac Wouye et le fleuve Sénégal (lagune de Mboumbaye).

2.3.2. Traitement

Les échantillons ont été analysés au laboratoire d'hydrochimie de l'UCAD. Une analyse chimique complète des échantillons d'eau a été réalisée pour déterminer les faciès chimiques de l'eau. Le logiciel d'hydrochimie Diagramme a été utilisé pour calculer et représenter les faciès chimiques des eaux dans les sites d'étude des *Niayes*.

Pour la comparaison des seuils de salinité, les valeurs obtenues pour les sols et les eaux d'irrigation ont été groupées et comparés suivant la classification de Bocoum (2004). Cette classification permet d'évaluer le niveau de salinité des prélèvements par rapport à la normale.

Les échantillons d'eau ont permis de déterminer les paramètres dont le pH eau, Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , Cl , SO_4 , HCO_3 , NO_3 qui représentent les faciès chimiques (les anions et les cations dans l'eau d'irrigation et la solution du sol). Le calcium (Ca^+) et le magnésium (Mg^+) ont été dosés par volumétrie avec un chélatant²; le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) sont déterminés par la méthode de spectrophotométrie à flamme ; le dosage des chlorures a été effectué par titrimétrie (méthode de MOHR). L'alcalinité a été déterminée par la méthode volumétrique. Les carbonates et les bicarbonates sont dosés à l'acide sulfurique non concentré (0,02 N), à une solution de phénophtaléine dans l'alcool à 0,5 % et d'une solution de méthylorange. Les sulfates ont subi un dosage à la solution de NaCl-HCl (10 ml), de chlorure de barium (1 gramme), de gomme d'acacia (2 ml). Les faciès chimiques ont été déterminés par l'approche hydrogéochimique à partir du diagramme de STABLER qui permet de faire ressortir des ions. Ce dernier a permis de déterminer, sur un même plan, la prédominance des éléments dissous et d'observer l'effet de conservation dans la relation eau-sol irrigué. La formule caractéristique de STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. Ce traitement a permis d'obtenir les résultats.

3. Résultats

Les résultats issus des différents sites de prélèvement d'échantillons montrent une salinisation et une alcalinisation des sols et des eaux de la nappe des sables quaternaires, en particulier, dans certains puits des périmètres maraîchers comme le montre les résultats des analyses de sols et

² La chélation est un processus au cours duquel est formé un complexe entre un ligand et un cation métallique alors complexé.

des eaux dans les sites d'étude. Les résultats sont présentés par site étudié en considérant le sol et les eaux d'irrigation.

3.1. *Le lac Wouye*

En 2010, les valeurs de la CE des sols varient entre 36 et 146,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alors qu'en 2007 elles étaient de 260 à 1 820 $\mu\text{S}/\text{cm}$, montrant une baisse en 2010 et des sols légèrement salins à très salins en 2007. Cette situation est due à la transformation du lac en bassin de rétention durant les prélèvements de 2018. La montée des eaux a provoqué la baisse de salinité. Les valeurs de la CE révèlent des sols non salins.

En 2018, la CE varie de 290 à 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une CE plus élevée en profondeur. Ces valeurs montrent des sols légèrement salins à salins et mettent en évidence une augmentation de la salinité des sols en 2018, par rapport à 2010 où l'on ne note pas de sols salins (36 à 146,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette situation s'explique par le recul des eaux du lac en 2018 qui favorise une élévation de la conductivité électrique par concentration *in situ*.

En revanche, les résultats des analyses d'eau du lac Wouye ont montré une CE de 26 680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2010, largement supérieur à la normale définie par Bocoum (2004) et estimée entre 600 à 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette salinité excessive est consécutive aux intrusions marines dans le lac, à cause de sa proximité d'avec la mer. En 3 ans (2007-2010), on observe une augmentation de la salinité de l'eau du lac, avec une CE de 10 090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux du lac et de 1 696 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les *céanes*, en 2007, contre 26 680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2010, pour les eaux du lac.

Ainsi, depuis la transformation du lac en bassin de rétention des eaux, il est noté une élévation de la CE du lac de 16 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En moyenne, on observe une hausse de l'ordre 5 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ par an, dans le lac, rendant l'eau impropre à l'irrigation.

En 2018, les *céanes* présentent aussi une eau très saline de l'ordre de 1920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à extrêmement saline dépassant 12 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le lac. On observe une baisse de la salinité par rapport à 2010 (26 680 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avec une différence de 14 680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 8 ans, dû à l'apport d'eau dans le lac venant des zones d'inondations de Malika et de Yeumbeul. La figure 2 montre les composantes chimiques des eaux du lac Wouye en 2018.

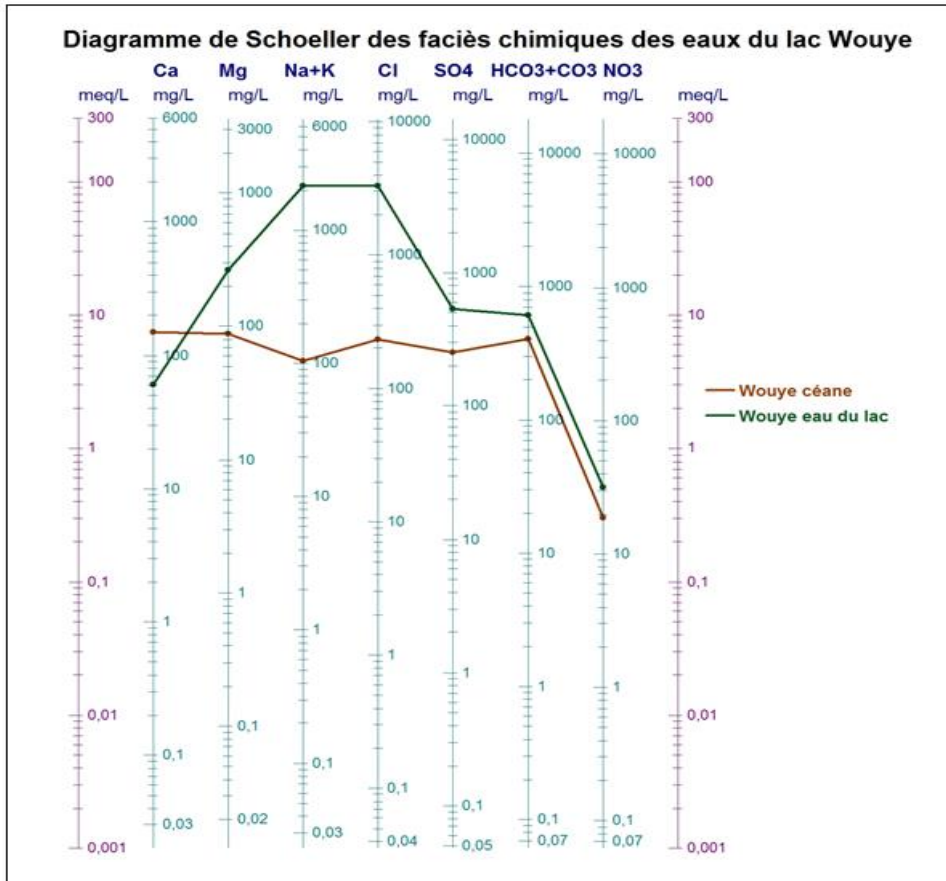


Figure 2. Composantes chimiques des eaux du lac Wouye en 2018

Le chlorure de sodium (Cl^- – 3308,64 mg/l et Na^+ 2072,34 mg/l) est le principal sel qu'on rencontre dans les eaux du lac Wouye, confirmant l'hypothèse d'une intrusion marine. Dans les *céanes*, les ions carbonate dominant (408,7 mg/l), suivi des ions sodium (254,4 mg/l) et chlorure (232,40 mg/l). Les faciès chimiques des eaux du lac montrent une prédominance des anions (5348,38 mg/l), contre 2812,71 mg/l pour les cations. La présence d'ions nitrates (50,44 mg/l) révèle l'usage des produits chimiques dans le milieu.

3.2. Le lac Tanma

Les valeurs de la CE du sol dans le lac Tanma en 2010 sont comprises entre 24 et 192,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles restent les mêmes presque sur tous les profils étudiés. Les résultats montrent donc des sols non salins autour du lac avec des CE de l'ordre 9 à 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En 2018, les valeurs de la CE déterminent une forte salinité des sols en surface du lac (9630 $\mu\text{S}/\text{cm}$), due à une intrusion marine (la partie Nord du lac étant très proche de la mer).

Entre les deux dates d'observation sur le même site, la salinité en surface a augmenté de manière exponentielle. En 2010, quasiment tous les résultats étaient estimés à moins de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alors qu'en 2018, les données ont évolué avec un minimum de 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les résultats de 2018, montrent une salinité plus élevée en surface qu'en profondeur à cause d'une irrigation d'eau saline doublée d'une forte demande évaporatoire.

Considérant les eaux souterraines, les valeurs présentent une CE importante de l'ordre de 10920 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La forte salinité de l'eau d'arrosage est indicatrice d'une intrusion marine dans le milieu et une salinisation de la nappe quaternaire.

En revanche en 2018, deux puits prélevés en 2010 ont été abandonnés. Les échantillons montrent une forte présence de sels dans l'eau. La conductivité électrique de l'eau d'irrigation est comprise entre 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 7330 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La figure 3 caractérise les teneurs chimiques des eaux du lac en 2018.

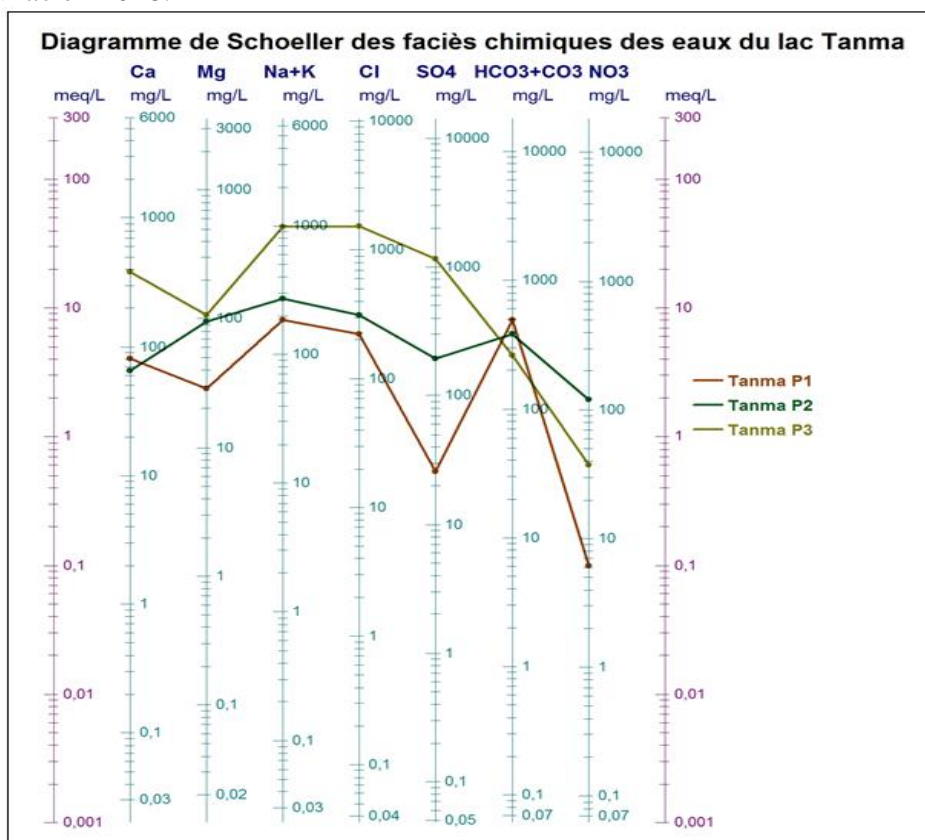


Figure 3. Composantes chimiques des eaux prélevées au lac Tanma en 2018

La figure 3 montre une forte présence des ions chlorure et sodium avec une dominance des ions bicarbonates 488 mg/l. Les sels varient entre 6.15 mg/l et 1547.73 mg/l, avec une forte présence des anions (Chlorure, Sulfate, Hydrogénocarbonate), 4588,82 mg/l au total et des cations (Sodium, Potassium, Magnésium, Calcium), 2195 mg/l, présentent dans l'eau de mer, qui montre une intrusion marine dans le milieu.

Les résultats montrent aussi la présence des ions nitrates³ (164,76 mg/l) liés à une utilisation des produits chimiques dans ce système de production.

3.3. *Le site de Taré*

Au niveau du sol, les analyse au laboratoire de 2010 montrent une CE variant de 27,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 52,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ils montrent des sols non salins en référence à la classification de BOCOUM (2004) avec une CE plus forte en surface qu'en profondeur due à l'irrigation avec de l'eau saline et à des phénomènes d'évaporation qui favorisent l'accumulation de sels en surface. Par rapport au lac Wouye, les CE du sol sont moins fortes à Taré.

En 2018, la conductivité électrique (CE) met en évidence également des sols non salins, avec une CE variant de 32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 86 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par rapport à 2010 (27,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 52,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), on note une augmentation de 4.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 33.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 8 ans. Ce qui montre une progression de la salinité dans le milieu, avec un niveau de sel plus élevé en surface qu'en profondeur. Toutefois, cette différence n'exprime pas une salinité inquiétante dans le profil pédologique.

En revanche au niveau des eaux d'irrigation, les résultats de 2010, montrent une eau modérément saline, avec une CE moyenne de 538,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En 2018, les résultats font état d'une eau d'irrigation extrêmement saline variant de 2 120 à 45 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, largement supérieurs à ceux de 2010. Ainsi, ces valeurs traduisent qu'en 8 ans, la salinité des eaux de puits et du fleuve à Taré a largement augmenté à cause de l'intrusion marine.

De 2010 à 2018, on a une augmentation de la CE qui varie de 2 119 à 44 999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un niveau plus élevé dans le fleuve Sénégal (Lagune de Mboumbaye), qui varie à une moyenne de 538,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2 010 à 45 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2018. Ce changement de la dynamique saline montre une intrusion marine à partir de la lagune et imputable à l'ouverture de la brèche en 2003, qui passe de 750 m en 2004 à environ 7 000 m en 2019. La figure 4 présente la composition ionique des eaux d'irrigation sur le site du village de Taré.

³ Nitrate (NO_3^-) : un engrais chimique, qui entre dans le cycle de l'azote.

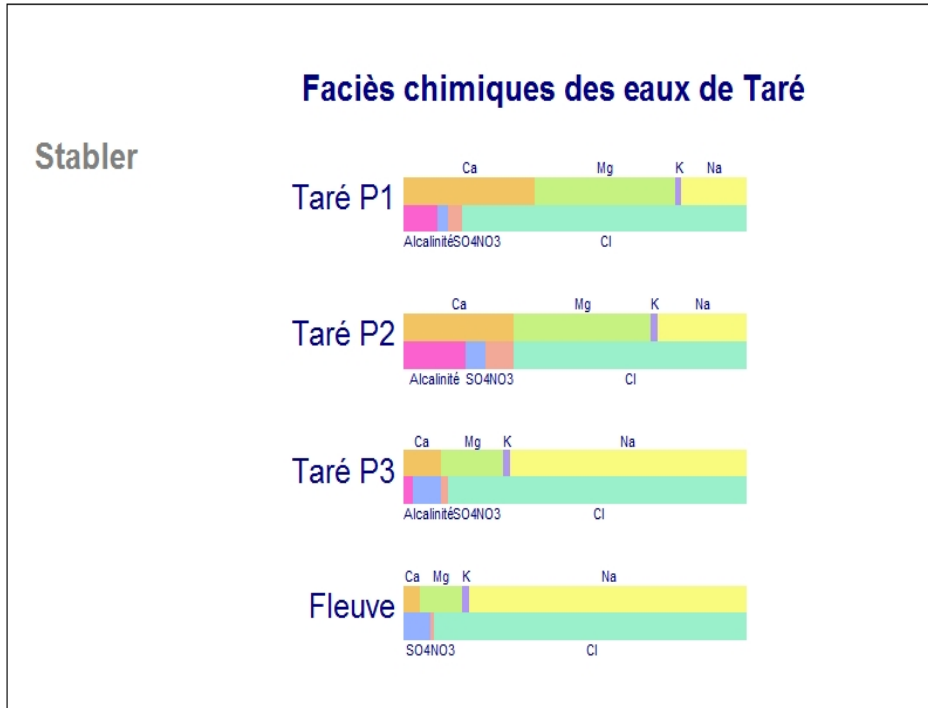


Figure 4. Composantes chimiques des eaux de puits et du fleuve prélevées à Taré en 2018 par le diagramme de Stabler

Les faciès chimiques des eaux montrent une dominance des ions chlorure et sodium dans les puits et dans le fleuve. L'importance de ces deux ions met en évidence l'origine marine de cette salinité. Il y a une plus forte salinité dans la lagune, avec la présence des ions chlorure (13 595,09 mg/l) et sodium (8 034,18 mg/l), montrant une intrusion marine dans celle-ci et renforcée par l'ouverture de la brèche en 2003. La forte présence de chlorure (5 787,93 mg/l) et de sodium (3 083,75 mg/l) dans certains points prélevés proches, montre une intrusion marine à partir du fleuve. Les ions présents dans les échantillons des eaux de Taré démontrent aussi la présence d'anions (chlorure, sulfate, carbonate) et de cations (sodium, potassium, calcium), d'origine marine.

3.4. *Le site de Darou Mboumbaye*

Les résultats de la CE du sol en 2010 varient entre 41 à 173,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caractérisant des sols non salins, avec une accumulation de sels en surface, dû à l'intrusion marine et une remontée saline vers la surface. Les résultats montrent que les échantillons proches de la Lagune de Mboumbaye ont une CE supérieure en profondeur qu'en surface. En partant du village de Darou Mboumbaye, la salinité diminue vers l'intérieur des terres et suit logiquement la dynamique du biseau salé.

En revanche, les échantillons de 2018 montrent des sols non salins comme pour 2010, avec une CE variant de 48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par rapport à 2010, la CE est plus élevée en surface qu'en profondeur. Globalement, les CE traduisent des sols non salins sur les deux dates d'observation.

A Darou Mboumbaye, les prélèvements des eaux en 2010 montrent une eau saline qui se situe entre 347 et 1754 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Toutefois, les résultats de 2018 sont largement supérieurs à ceux de 2010. La CE présente une eau extrêmement saline, variant entre 9800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 18200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une forte présence de chlore dans l'eau. Une telle dynamique s'explique par la proximité d'avec la brèche et la rapidité par laquelle cette dernière a contaminé la nappe sous-jacente. La figure 5 présente la composition ionique des eaux d'irrigation sur le site du village de Darou Mboumbaye.

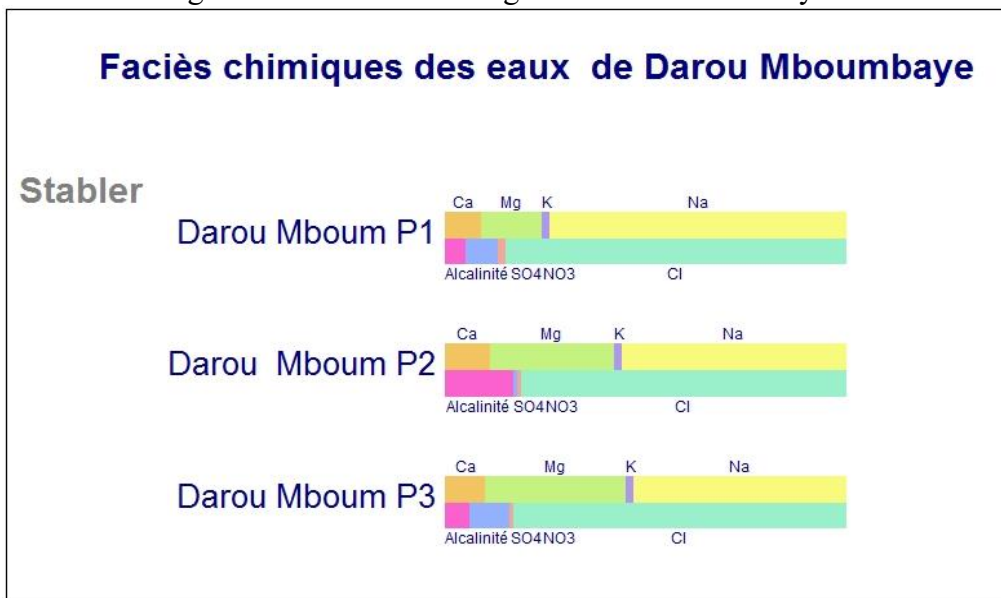


Figure 5. Composantes chimiques des eaux de puits à Darou Mboumbaye en 2018

Les faciès chimiques des eaux de Darou Mboumbaye mettent en évidence une forte présence des ions chlorure (2856,29 à 5393,40) et sodium (1162,48 à 3028,02) dans les puits, avec une plus grande quantité des ions chlorure, dû à une intrusion marine, aggravée par l'ouverture de la brèche en 2003 sur la Langue de Barbarie (LB).

Au total, les résultats de la CE dans les différents sites d'étude des Niayes ont démontré des sols non salins en 2010 variant de 24 à 192,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En 2018, on note une augmentation de la CE dans quasiment tous les sites étudiés, variant de 32 à 9630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec des sols non salins (champs

lac Tanma, Taré et Darou Mboumbaye), légèrement salins et salins (au lac Wouye), et extrêmement salins (sol lac Tanma, qui est asséché).

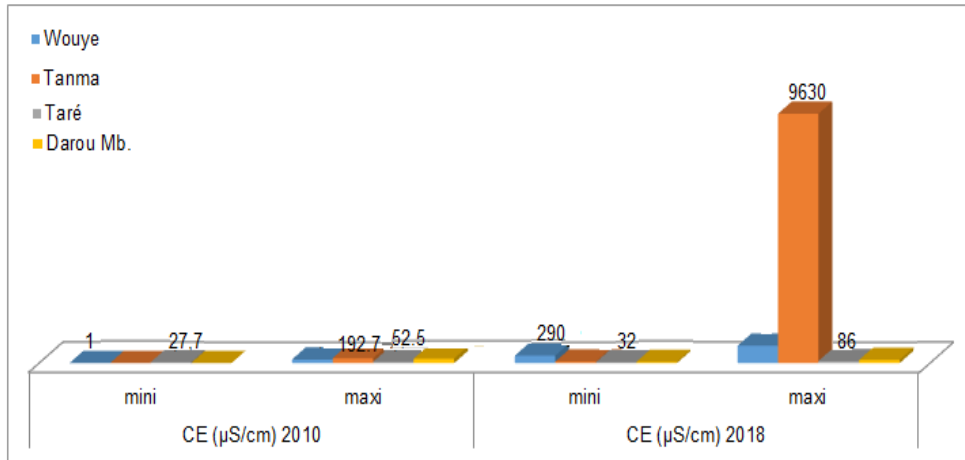


Figure 6. Variation de la CE des sols des différents sites en 2010 et 2018

En revanche, les eaux analysées sont, dans l'ensemble, très salines sur le site du lac Wouye (26680 µS/cm) et dans un puits du lac Tanma (10920 µS/cm) en 2010. On observe une CE qui passe de 157 à 26680 µS/cm en 2010, et de 1500 à 45000 µS/cm en 2018. La CE montre des eaux modérément salines à Taré, très salines à Darou Mboumbaye, extrêmement salines aux lacs Wouye et Tanma en 2010 et des eaux très salines (céane lac Wouye, Tanma), extrêmement salines (eau lac Wouye, Tanma P3, Taré, fleuve Sénégal, Darou Mboumbaye) en 2018.

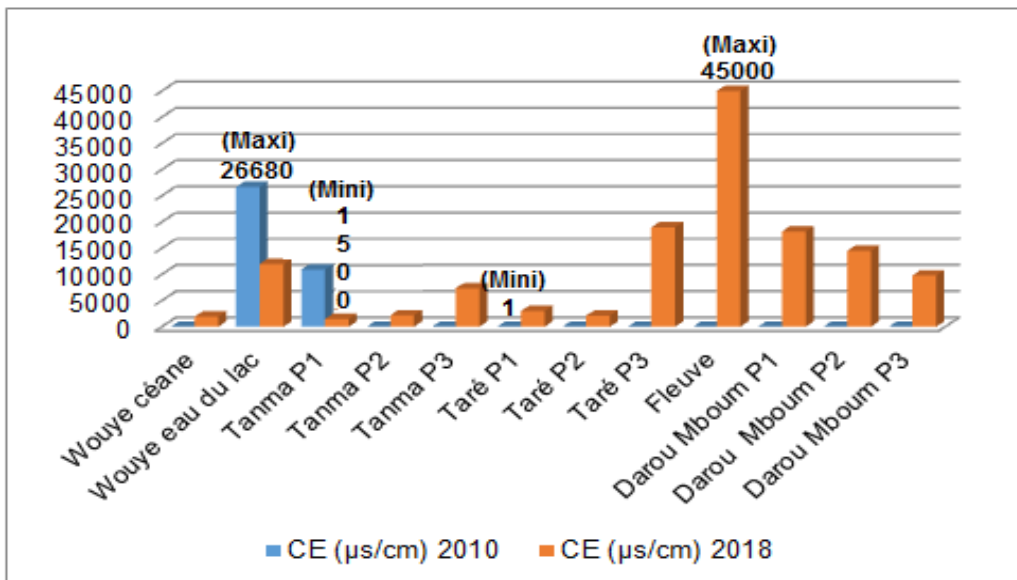


Figure 7. Variation de la CE des eaux des différents sites en 2010 et 2018

En considérant les moyennes de 2010, les résultats permettent de constater une plus grande salinité autour du lac Wouye, avec une moyenne de 85,71, et une CE totale de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, suivi de Darou Mboumbaye 59,22 (Total CE, 829,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Taré 41,05 (total CE 574,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du lac Tanma 18,31 (total CE 256,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le cumul des CE montre des sols légèrement salins, salins et très salins en 2010.

En 2018, la moyenne des résultats montre une plus forte salinité au lac Tanma, due à la forte salinité des sols du lac asséché (9630 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avec une moyenne de 1 649,83 et une CE totale de 9899 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le lac Tanma est suivi du lac Wouye, avec une moyenne de 457,16 (CE totale 2743 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Darou Mboumbaye 89,83 (CE totale 539 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de Taré 58 (CE totale 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le cumul des CE de 2018 montre des sols légèrement salins, salins à extrêmement salins.

4. Discussion

Au regard des résultats obtenus dans l'estimation de la salinité des quatre sites, on observe des sols non salins, sauf pour les sols prélevés sur le site du lac Wouye en 2018, des sols légèrement salés (533 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et sur la surface du lac Tanma asséché, qui sont extrêmement salins (9 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Sow, Cissokho et Gueye (2016) ont montré que le lac Tanma a des niveaux de salinité très élevés. La prédominance de *Cyprideis*, caractérisant une lagune en voie d'assèchement sous un climat semi-aride. *Cyprideis nigeriensis* est une espèce qu'on retrouve dans les lagunes et estuaires où la salinité atteint, voire dépasse 35 ‰ pendant la plus grande partie de l'année. Ce qui confirme, la salinité de l'eau du lac Tanma et du sol prélevé sur le lac asséché en 2018. Une salinité qui s'accroît avec l'irrégularité de la pluviométrie au fil des années, et qui se répercute sur les activités maraîchères dans la zone. La baisse des nappes contribue à la remontée du biseau salé, entraînant la salinisation de plusieurs puits qui bordent le lac Tanma. Des résultats des analyses de 2018 confirment cette hypothèse avec des eaux salines de l'ordre de 1 500 à 7 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Au regard des résultats sur les sols et les eaux d'irrigation entre 2010 et 2018, il ressort de l'analyse que les problèmes de salinité des *Niayes* proviennent surtout des eaux, dû à l'avancée de la mer, à la baisse de la pluviométrie, à la baisse de la nappe phréatique, etc. On note aussi des causes anthropiques comme le pompage excessif des eaux souterraines qui contribue à l'intrusion marine et à la remontée du sel en surface. Par conséquent, il est noté actuellement un fort taux d'abandon des parcelles agricoles à cause de leur infertilité, mais le problème majeur est une mauvaise gestion des terres alcalines et salines, et une mauvaise prise en charge des eaux salines dans l'irrigation des plantes.

Les résultats de 2018 ont montré une forte salinité des eaux dans le Nord des Niayes, surtout dans le Gandiolais, avec une salinité plus élevée que dans les autres sites d'études. A Darou Mboumbaye, la CE varie entre 9 800 et 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Diatta (2008) avait montré que l'agriculture est menacée dans le Gandiolais à cause de la remontée saline accentuée par l'ouverture de la brèche en 2003. Dans les Ndioukis, l'augmentation du taux de salinité a entraîné la baisse des rendements et l'abandon de beaucoup de jardins adjacents au cordon vif. Les résultats de 2010 et 2018 ont démontré la conséquence négative de la salinisation sur les activités maraîchères, dû en grande partie à l'ouverture de la brèche. Il est aussi noté une forte intrusion marine dans le Gandiolais, favorisée par la brèche. Les résultats des analyses faites sur la Lagune de Mboumbaye en 2018, confirment cette situation, avec une CE de 45 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ainsi, ces modifications constituent en l'état un frein au développement local dans cette zone littorale que constitue le Gandiolais. Dans cette optique, les résultats de Jacoutot (2006) dans le secteur de Darou Mboumbaye, montrent une salinité assez forte, soit une moyenne de 4 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2,6 g/l) entre Mboumbaye et Mbaou, en bordure de la lagune très fortement salée en permanence. Dans la partie Sud du secteur, la salinité atteint des niveaux de l'ordre de 9 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (5,40 g/l).

La faible salinité du sol s'explique aussi par la quasi-absence de colloïdes dans les cuvettes agricoles. Il y a plus de limons que d'argiles dans le secteur continental. Au contraire, les sols limoneux, qui ne montrent pas de fissures lors de dessèchement, sont les plus dangereux du point de vue salinisation puisqu'ils combinent une vitesse capillaire moyenne avec une hauteur élevée de remontée saline. Le secteur de Mboltime et quelques portions du secteur continental sont, par conséquent, plus vulnérables que les *niayes* littorales à cause des teneurs en limons.

La tendance grossière est donc très importante dans les *niayes* littorales et continentales. Ce qu'il faudrait en tirer est que le Gandiolais et la majeure partie de la zone des Niayes sont, en partie, protégés de la concentration saline par leurs caractéristiques sédimentologiques (texture des sols) et les efflorescences ne sont pas aussi fréquentes par rapport aux milieux colloïdaux. Cela reste toutefois un danger puisque le sel reste dans la rhizosphère et attaque directement les racines des spéculations maraîchères dans les premiers 40 cm (volume racinaire).

La salinisation provoque ainsi l'abandon des terres (lac Wouye 92 ha, lac Tanma 4 720 m², Taré 8 ha, Darou Mboumbaye 2 250 ha), la baisse des rendements (lac Wouye moins 1 tonne après 2008, lac Tanma moins 1 tonne depuis plus de 10 ans, Taré moins 20 tonnes en 2017 et 2018, après l'ouverture de la brèche, Darou Mboumbaye moins 12 tonnes en 2017 et 2018, après l'ouverture de la brèche).

En outre, la salinisation des sols plus marquée dans les bas-fonds de la partie Sud des Niayes, s'expliquerait par l'abaissement de la nappe phréatique et l'intrusion des eaux de mer (Ndiaye et al, 2012)]. En revanche, la salinisation des sols dans les Niayes de Pikine pourrait être en majeure partie attribuée à un déficit pluviométrique qui est à l'origine de l'abaissement de la nappe phréatique et à l'intrusion des eaux de mer à l'intérieur des terres. Les résultats de 2018 sont confirmés dans le lac Wouye de Malika avec une CE des eaux variant entre 1 920 et 12 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Dans ce cadre, les travaux de Diallo et *al.* (2015) ont montré que plusieurs périmètres irrigués sont soumis à de graves problèmes de salinisation dans les *Niayes* de Saint-Louis, se traduisant par une dégradation des sols et une baisse de productivité. La salinisation agit négativement sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, de même que sur les rendements des plantes. Les analyses des échantillons de sols et d'eau prélevés dans quelques villages du Gandiol (Mboltime, Kalassane, Keur Saer, Ndoye Diagne, Rimbakh, Deggu Niaye et Ricotte) montrent que la CE est saline à Keur Saer, très saline à Kalassane, Mboltime et Ndoye Diagne, et extrêmement saline à Deggu Niaye, Rimbakh et Ricotte avec des taux extrêmement élevés dans les trois derniers sites (entre 4 414 et 5 843 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Par comparaison, les résultats d'analyse de 2018 montrent une évolution de la salinité de l'eau dans le Gandiol, avec une CE comprise entre 9 800 à 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par rapport aux sols l'écart est important entre les valeurs de pH et de CE entre l'eau et le sol. Le pH est plus élevé dans le sol tandis que la concentration de sels est plus élevée dans les eaux de puits, tout comme l'a montré les résultats de 2018, contrairement à 2010 et 2014 où l'on a noté une augmentation du pH (8.87 à 9.34 pour le sol, et 8.05 à 8.19 pour l'eau) et de la CE, (48 à 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le sol et 9 800 à 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'eau). La salinisation moins marquée des sols pourrait s'expliquer par l'utilisation de fumiers par les producteurs pour lutter contre la salinité (Diallo et *al.* 2015). Pour la salinité des sols, on observe des sols non salins, légèrement salins et très salins. Les résultats de 2018 montrent des sols non salins au nord (48 à 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avec une CE plus élevée dans le village de Darou Mboumbaye, certainement dû au niveau de salinité des eaux de puits (9 800 à 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Niang (2017) a montré des valeurs révélatrices d'une eau fortement minéralisée. Au niveau du village de Mboumbaye, qui est dans le même secteur que Darou Mboumbaye, les résultats ont donné une CE de 15 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau, ce qui est dans la même fourchette des analyses de 2018 à Darou Mboumbaye (9 800 à 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les résultats de 2017 ont montré une nappe plus ou moins saturée en sels, inadéquate pour l'irrigation, qui semble atteindre ses marges de tamponnement, et un caractère non statique de la conductivité électrique de la nappe quaternaire. Des données

confirmées par les analyses de 2018, qui montrent une forte salinité des eaux, pas favorable à l'irrigation.

La salinisation sur le site du lac Wouye, du lac Tanma, de Taré et Darou Mboumbaye mène à une dégradation des sols et des eaux, qui limite l'activité maraîchère, les rendements. On assiste depuis quelques années à une baisse de la productivité des sols, qui sont de plus en plus alcalins avec des pH de 7.2 à 9.34 en 2018 contre des valeurs de 5.18 à 8.95 en 2010. Les eaux sont de plus en plus basiques, avec une forte salinité. Depuis 2008, la situation du lac Wouye a changé, avec sa transformation en bassin de rétention pour régler les problèmes d'inondations dans la localité. Une inondation de presque toutes les parcelles qui se trouvent aux alentours du lac a été notée (environ 95 % des parcelles). Tout comme la décision d'ouvrir une brèche à Saint-Louis, ce choix de l'État a eu des conséquences néfastes sur le milieu (Camara, 2008, Sy, 2008). La productivité des sols a largement baissé, avec une augmentation de la CE en 2018, qui varie de 32 à 9630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (dans les quatre sites), par rapport à 2010 (1 à 192.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L'eau des puits utilisée pour l'arrosage des périmètres maraîchers, a un fort taux de salinité en 2018, baissant sa productivité (1 500 à 19 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), par rapport à 2010 (1 à 10 920 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les villages de Taré et Darou Mboumbaye sont parmi les victimes de l'ouverture de la brèche à Saint-Louis, avec une forte salinité des eaux d'irrigation en 2018 (2 120 à 19 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à Taré et (9 800 à 18 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à Darou Mboumbaye.

Conclusion

En définitive, les résultats ont montré que la quasi-totalité des terres est abandonnée à cause de l'alcalinisation et de la salinisation. Un bon nombre de maraîchers ont perdu une bonne partie de leur terre : lac Wouye (60 %), lac Tanma (50 %), Taré (40 %), Darou Mboumbaye (80 %).

Pour le cas de Dakar, en plus d'avoir perdu des terres à cause de la salinité et de l'alcalinité, la transformation du lac Wouye en bassin de rétention a provoqué l'inondation de presque toutes les parcelles qui étaient à proximité du lac. On a constaté une baisse de la production et des rendements dans tous les milieux choisis (lac Wouye moins 1 tonne après 2008, lac Tanma moins 1 tonne depuis plus de 10 ans, Taré moins 20 tonnes en 2017-2018 après la brèche, Darou Mboumbaye moins 12 tonnes en 2017-2018 après la brèche

Ainsi, l'utilisation de l'eau d'irrigation est devenue problématique dans les *Niayes*. Les nappes sont plus salées, dégradant la qualité des sols, ce qui affecte le développement des cultures maraîchères. Ce contexte entraîne la disparition de pans entiers de parcelles maraîchères d'où le contexte d'espace en sursis, en crise écologique. Il se pose un problème d'environnement et de développement agricole dans la région des *Niayes*. Le

phénomène se manifeste par une baisse de la productivité des sols avec une forte exploitation des terres agricole. Depuis quelques années, des rendements agricoles inférieurs à 1 tonne/ha, sont régulièrement enregistrés dans la zone centre des *Niayes*, plus précisément dans la région de Thiès (au lac Tanma), malgré, la disparition quasi totale de la jachère. Dans une bonne partie des *Niayes*, les mutations opérées sur l'espace sont marquées par l'abandon des terres jadis consacrées aux cultures pluviales et la reconversion des populations locales vers le maraîchage. En tout état de cause, ces changements ont conduit à la dégradation des terres par salinisation (sol du lac Tanma asséché) et alcalinisation (lac Wouye, Taré et Darou Mboumbaye).

Les sols du lac Wouye et Tanma perdent peu à peu leur valeur naturelle, avec des modifications qui vont dans le sens d'une dégradation et d'une transformation accélérée de leur aspect antérieur, se répercutant sur les activités maraîchères, avec : une baisse des superficies cultivables et des rendements. Dans les villages de Taré et de Darou Mboumbaye, si l'ouverture de la brèche est une bouée de sauvetage pour l'île de Saint-Louis, elle a aggravé les problèmes de salinités des eaux et d'alcalinités des sols des périmètres maraîchers des deux villages. Les problèmes de salinité des eaux s'aggravent, avec la brèche qui augmente de plus en plus.

Ainsi estime-t-on que les politiques majeures qui peuvent permettre de maintenir ou d'intensifier l'utilisation durable des sols résident dans l'utilisation d'une eau d'irrigation moins salée. La maîtrise de l'irrigation constitue, dans son ensemble (eau en qualité et en quantité, modernisation de l'irrigation), le premier facteur d'amélioration de la production maraîchère. Certes, il existe des contraintes d'ordre organisationnel (commercialisation, organisation des intrants), mais ils posent moins de problèmes pour le système de production et doivent être gérés par les organisations paysannes à la base avec l'appui des services compétents.

References:

1. Bocoum M., (2004). Méthodes d'analyses des sols, document de travail, Institut National de Pédologie, Dakar- Sénégal, 55 pp.
2. Camara. MMB, (2008). Impacts des aménagements sur les zones littorales : l'exemple de l'ouverture de la brèche sur la Langue de Barbarie (Grande côte du Sénégal), Acte de colloque international pluridisciplinaire, 12 p.
3. Diallo M. D., Ngamb T., Tine A. K., Guissé M., Ndiaye O., Saleh M. M., Diallo A., Diop A., Guissé A., (2015). Caractérisation agropédologique des sols de Mboltime dans la zone des niayes (Sénégal). *Revue Agronomie Africaine*, vol. 27, n° 1 57-67.

4. Diallo M. D., Ndiaye O., Saleh M., Tine A. K., Diop A. et Guisse M., (2015). Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone Nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, vol. 23, n° 2, 101-111
5. Diatta I., (2008). « Dynamiques des systèmes de productions horticoles et développement territorial dans les Niayes (Littoral Nord-Ouest du Sénégal » in *Territoires et action publique territoriale : nouvelles ressources pour le développement régional*, colloque de l'ASRDLF, CRDT, Québec, 14 p.
6. Fall M. D., (2012). Modélisation hydrogéologique conceptuelle de la nappe des sables quaternaires du littoral Nord du Sénégal entre Dakar et Saint-Louis. Mémoire Master2, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 69 p.
7. Faye S., 1995. Modélisation hydrodynamique des nappes du littoral Nord entre Kayar et Saint-Louis. Impacts des futurs prélèvements envisagés dans le cadre de l'approvisionnement en eau de Dakar et ses environs, thèse de Doctorat, université Cheikh Anta DIOP, 158 p.
8. Jacoutot A., (2006). Modifications environnementales et ses conséquences : cas du Gandiolais et Parc National de Diawling, stage de recherche, IGA, 174 p.
9. Lazar A. et Augustin A., (2009). Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des niayes du Sénégal entre 1950 et 2004, thèse de doctorat, université du Québec, 208 p. Sadio S., (1991). Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal. Paris : ORSTOM, 283 p.
10. Lezine A. M., (1986). « Environnement et paléoenvironnement des Niayes depuis 12 000 ans BP ». *Changements globaux en Afrique*, 261-263.
11. Ndiaye O. et al, (2012). « Caractérisation des sols de la région des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6, 519-528.
12. Niang S., 2017. Dégradation chimique et mécanique des terres agricoles du Gandiolais (littoral Nord du Sénégal), analyse des dynamiques actuelles d'adaptation, Thèse UGB, 355 p.
13. Ndour M., (2012). Dynamique et gestion environnementale de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès) et Saint-Louis. Thèse, 371 p.
14. SONED Afrique, (1995). Etude des filières horticoles, rapport final, PADEN, (2013) 50 p.

15. Sow E., Cissokho P. S et Gueye M.T., (2016). Les diatomites du lac Tanma : mythe ou réalité ? Notes Africaines, Vol 210, 25-27.
16. Sy B. A., (2008). Milieux, sécheresse climatique et érosion éolienne. Etude géomorphologique du Sahel Sénégalais, Thèse d'État, Univ. Gaston Berger Saint Louis Sénégal, UFR de LSH, 429 p.
17. Wade C. T., (2003). Gestion durable des usages littoraux au niveau de la grande cote sénégalaise: Analyse de l'impact de l'évolution de la ressources en eau sur les potentialités horticoles de la région des Niayes. Mémoire de DEA, FUL, 120 p.