

Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



RIGES

www.riges-uao.net

ISSN: 2521-2125

Numéro 10

Juin 2021



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

ADMINISTRATION DE LA REVUE

Direction

Arsène DJAKO, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

Secrétariat de rédaction

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître-Assistant à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître-Assistant à l'UAO

Comité scientifique

- **HAUHOLOT Asseypo Antoine**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO N'Guessan Jérôme**, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO Michel**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)
- **ANOH Kouassi Paul**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO Kokou Henri**, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP Amadou**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW Amadou Abdoul**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP Oumar**, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU Anselme**, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **KOBY Assa Théophile**, Maître de Conférences, UFHB (Côte d'Ivoire)
- **SOKEMAWU Koudzo**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI Follygan**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA Padabô**, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE Moussa**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)

EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les rapports entre les sociétés et le milieu naturel, la production agricole, l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et urbaines, le développement territorial ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction
KOUASSI Konan**

COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

Sommaire

<p>AKADJE-Konan Léocadie Marie-Claude</p> <p><i>Suivi spatio-temporel de la mangrove du complexe Sassandra-Dagbégo</i></p>	5
<p>DIOP Khalifa, CISSÉ Ahmadou Bamba</p> <p><i>Salinisation et risques pour l'agriculture périurbaine à Pikine : analyse des résultats du suivi de l'évolution saisonnière et interannuelle (2016-2017) de la minéralisation des eaux d'irrigation à travers la conductivité électrique</i></p>	21
<p>TOFFA Yessia, FANDOHAN Adandé Belarmain, AVOCEVOU-AYISSO Carolle, SODE Akoeugnigan Idelphonse</p> <p><i>Distribution potentielle des habitats favorables au genre <i>Cochlospermum Kunth</i> et identification des zones prioritaires pour une conservation résiliente au changement climatique</i></p>	40
<p>ABIODOUN Adémola Frédéric, FANDOHAN Adandé Belarmain, TOKO IMOROU Ismaïla, GANGLO Jean Cossi</p> <p><i>Modélisation des habitats favorables à la conservation du buffle (<i>Syncerus caffer</i>) dans le contexte des changements climatiques au Bénin en Afrique de l'Ouest</i></p>	61
<p>Seausoliait Eusèbe KOUAKOU, Della André ALLA</p> <p><i>Les facteurs d'aléas d'inondation et d'érosion dans les petites localités ivoiriennes : cas des villes de Tiassale et N'douci (Sud de la Côte d'Ivoire)</i></p>	78
<p>Mamadou DIOMBERA</p> <p><i>Tourisme à Saly Portudal (Sénégal) : entre vulnérabilité et résilience face aux défis du changement climatique</i></p>	98
<p>LARE Konnegbéne</p> <p><i>L'exploitation des bas-fonds dans la Région des Savanes au Nord-Togo : un enjeu important pour un développement socio-économique local</i></p>	123
<p>DEGUI Jean-Luc, KOUADIO Kouakou Abraham</p> <p><i>Pratiques culturelles et dégradation forestière dans le département de Divo au sud de la Côte d'Ivoire</i></p>	149

<p>Drissa KONE, Seydou MARIKO, Abdoul Kadri KOLLI</p> <p><i>Rôle du marché de Nièna dans l'approvisionnement et la commercialisation du bétail en République du Mali</i></p>	164
<p>YANOGO Pawendkigou Isidore, SANOGO Salifou, YAMÉOGO Joseph</p> <p><i>La pastèque (citrullus lanatus), une opportunité pour les acteurs de la commercialisation dans la ville de Koudougou (Burkina Faso)</i></p>	177
<p>MASSAR Sène</p> <p><i>Le mode d'acquisition foncière à Pikine et à Diaminar : pratiques irrégulières et différenciées entre deux quartiers périphériques et populaires de la ville de Saint-Louis</i></p>	196
<p>NGUIJOI Gabriel Cyrille, MBOKA MADIBA Jean Jacques, NKOUNGOU Gregory José, JAKPOU NJIPNANG Doris Nadine, MENDOUGA Yanick, ESSE NDJENG M.P.</p> <p><i>Désertion et déperdition scolaire dans la Vallée du Ntem : L'attrait des « pétro-francs CFA » guinéens et gabonais sur les jeunes de l'extrême sud-Cameroun</i></p>	214
<p>Estelle ZUO-DIATE, Dominique COURET, Ousmane DEMBELE</p> <p><i>Urbanisation de la périphérie sud-est d'Abidjan : quand un roi impose sa volonté à l'Etat</i></p>	235
<p>ASSI-KAUDJHIS Narcisse, GNANKOUEEN Anicet Renaud</p> <p><i>Autoproduction de logements et aménagement de l'espace urbain à Bongouanou (Côte d'Ivoire)</i></p>	260
<p>OUEDRAOGO Rawelguy Ulysse Emmanuel, NIKIEMA Dayangnéwendé Edwige, Georges COMPAORE</p> <p><i>Prolifération et gestion des bouteilles à usage unique à Koudougou (Burkina-Faso)</i></p>	277

**SALINISATION ET RISQUES POUR L'AGRICULTURE PÉRIURBAINE A
PIKINE : ANALYSE DES RÉSULTATS DU SUIVI DE L'ÉVOLUTION
SAISONNIÈRE ET INTERANNUELLE (2016-2017) DE LA MINÉRALISATION
DES EAUX D'IRRIGATION À TRAVERS LA CONDUCTIVITE ÉLECTRIQUE**

DIOP Khalifa, Chercheur au laboratoire Leïdi,
Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal,
Email : diopkhalifa21@yahoo.fr

CISSÉ Ahmadou Bamba, Chercheur au laboratoire Leïdi,
Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal,
Email : bambadiarracisse@gmail.com

Résumé

La Grande *Niaye* de Pikine, plus grand bassin de production horticole de Dakar est confrontée à une salinisation progressive de sa principale source d'eau. Celle-ci est alimentée par la nappe libre des sables du quaternaire qui communique avec l'océan favorisant une intrusion marine dans la principale source d'irrigation du site. Ceci oblige les maraîchers à utiliser les eaux usées domestiques comme alternatives. Cette contribution analyse les résultats du suivi de la salinité des eaux d'irrigation entre 2016 et 2017. La méthodologie consiste en un suivi saisonnier de la conductivité électrique des eaux en décembre 2016, mai et octobre 2017. Les résultats montrent que les eaux d'irrigation sont salées à très salées. On note cependant que la salinité des eaux usées et des eaux mélangées est moindre par rapport à celle des *céanes*. Les discussions montrent également que la salinité des eaux progresse au fil des années, menaçant l'utilisabilité de l'eau.

Mots clés : *Niayes*, Agriculture périurbaine, Pikine, Salinisation, Intrusion marine, vulnérabilité

Abstract

The Great *Niaye* of Pikine, the largest horticultural production basin in Dakar, is facing progressive salinization of its main water source. This is fed by the free aquifer of Quaternary sands which communicates with the ocean, favoring marine intrusion into the site's main source of irrigation. This forces market gardeners to use domestic wastewater as an alternative. This contribution analyzes the results of the monitoring of the salinity of irrigation water between 2016 and 2017. The methodology consists of a seasonal monitoring of the electrical conductivity of the water in December 2016, May and October 2017. The results show that waters from irrigation are salty to very salty. However, we note that the salinity of wastewater and mixed water is lower compared to that of *ceanes*. Discussions also show that the salinity of the waters increases over the years, threatening the usability of the water.

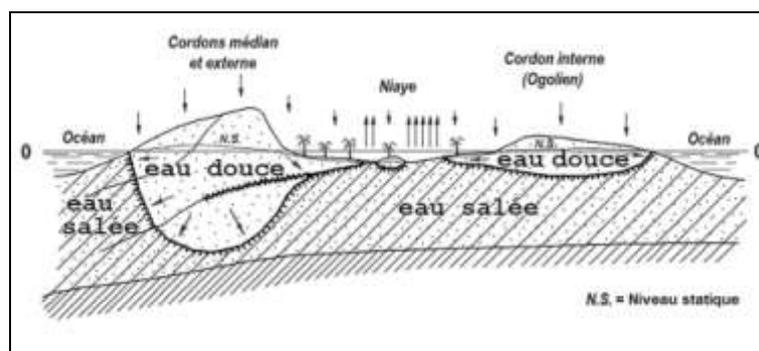
Keywords: *Niayes*, Peri-urban agriculture, Pikine, Salinization, marine intrusion, vulnerability

Introduction

Principal bassin de production horticole du Sénégal (60 à 80% des légumes du pays), la zone des *Niayes* est menacée par une salinisation de ses sources d'eau. Ce phénomène est compréhensible grâce à la situation de la région en zone côtière qui provoque une intrusion marine, d'une part. D'autre part, elle est accentuée par la sursollicitation de la nappe consécutive à l'intensification des systèmes de culture.

Le bassin de Pikine qui constitue le plus grand site de production de Dakar, appartient ainsi au complexe de la Presqu'île du Cap-Vert qui héberge deux nappes phréatiques sur 300 km² (A. TANDIA et *al.*, 1997, p. 292) : la nappe infrabasaltique captive reposant sur la formation géologique des Mamelles et la nappe libre des sables du quaternaire, également appelée nappe de Thiaroye, supportée par une couche marneuse. C'est cette dernière qui alimente notre site d'étude. La nappe y est affleurante et se présente soit sous la forme de dépressions évaporatoires à inondation temporaire en communication souterraine avec l'océan (J.C. COMTE, 2008, p. 143), soit sous la forme de nappe d'eau douce à saumâtre à inondation permanente constituant la ressource majeure pour l'irrigation (figure 1). Elle est en contact avec la mer dans toute sa partie nord et son gradient a beaucoup diminué avec les captages de la Sénégalaise des Eaux (SDE)¹ finalement arrêtés en 2008 à cause des fortes teneurs en nitrates dues à l'absence de réseau d'assainissement. Ces pompages ont fortement abaissé le niveau piézométrique de la nappe et favorisé l'avancée du biseau salé (J. QUENSIERE ET A. RETIERE, 2013, p. 43).

Figure 1. Système aquifère de la Grande Niaye de Pikine



Source : Comte, 2008

La figure 1 montre que le gradient d'eau douce est important sous les cordons dunaires, ce qui entraîne une intrusion marine centrale. Cette salinisation des réserves d'eau constitue une contrainte majeure pour l'irrigation. Pour y pallier, les

¹ La SDE est la société nationale chargée de la distribution d'eau potable au Sénégal. Elle avait implanté des forages dans la nappe de Thiaroye (qui alimente la *Niaye* de Pikine), avant que la qualité de l'eau ne décline.

producteurs font recours aux eaux usées domestiques traitées ou optent pour un mélange de ces dernières à celle des *céanes*².

Cet article étudie ainsi la salinisation des sources d'irrigation dans la Grande *Niaye* de Pikine à travers une évolution saisonnière et interannuelle. Il essaie de répondre aux questions suivantes : Quel est le niveau de salinité des eaux d'irrigation de la grande *Niaye* de Pikine ? Quels sont les risques pour l'agriculture périurbaine ?

Les hypothèses formulées à partir de ce questionnement suggèrent que : les eaux de la Grande *Niaye* de Pikine sont salées à très salées ; la salinité compromet la continuité de l'agriculture dans ce site. Pour vérifier ces hypothèses, nous avons procédé à une collecte des données de salinité dont les différentes étapes du traitement sont décrites dans la méthodologie.

1. Méthodologie

La méthodologie adoptée dans ce travail est pensée selon deux paramètres principaux : la saisonnalité et le type d'eau.

En effet, le choix d'une analyse basée sur le contraste saisonnier est justifié par le fait que la qualité des eaux change à mesure que leur volume baisse en s'éloignant de l'hivernage. De plus, la localisation de la *Niaye* sur le complexe hydrogéologique côtier du quaternaire fait qu'elle subit régulièrement les fluctuations du niveau de la nappe. Ces fluctuations entraînent proportionnellement les épisodes d'intrusions salines, ce qui rend pertinent le suivi de la salinité par le contraste saisonnier. Par conséquent, le suivi de la salinisation des eaux d'irrigation de la Grande *Niaye* de Pikine s'est fait sur trois campagnes saisonnières.

- la saison sèche froide (décembre 2016) ;
- la saison sèche chaude (mai 2017) ;
- la saison humide (octobre 2017).

L'analyse de la salinité se base également sur le type d'eau utilisé pour l'arrosage. En effet, les champs de Pikine sont arrosés avec les *céanes* de plus en plus salinisées et remplacées par les eaux usées traitées et les mélanges des deux. Ces types d'eau n'ont pas le même niveau de salinité et ne sont pas utilisés aux mêmes endroits de la Grande *Niaye*. Nous distinguons ainsi quatre zones dans la Grande *Niaye* : Pikine Nord (arrosé par les eaux usées), Pikine Ouest (arrosé par les mélanges de *céane* et d'eaux usées), Technopole et Guédiawaye (arrosés uniquement par les *céanes*).

Les *céanes* constituent la première source d'irrigation. Ce sont des excavations d'une profondeur variant entre 0,5 et 1,5 m et larges entre 3 et 5 m, ouvertes sur la nappe et généralement près du lac (photo 1). Elles sont creusées sans communication avec

² Détaillé dans la méthodologie

celui-ci pour réduire ou retarder les intrusions salines. Les *céanes* sont aussi régulièrement vidées afin de permettre le renouvellement de la réserve d'eau. En saison sèche, avec la baisse du niveau piézométrique, il est fréquent qu'elles soient approfondies ou élargies. En cas de salinisation excessive, elles sont abandonnées pour de nouvelles *céanes* fraîchement creusées qui donnent une eau moins salée.

Photo 1. Irrigation avec *céane* au Technopole³



Cliché : Diop (déc. 2016)

Les eaux usées sont une source alternative d'arrosage (photo 2). En effet, avec la salinisation progressive de la nappe, les producteurs ont recours à cette eau traitée par l'Office Nationale d'Assainissement du Sénégal (ONAS) dont l'accès est gratuit pour 33,4% d'entre eux (M. GAYE ET S. NIANG, 2010, p. 38). Le réseau d'utilisation s'étend progressivement avec de nouveaux branchements chaque année, malgré les risques sanitaires étudiés par S. Niang (2002). Ces eaux sont riches en matière organique et réduisent les efforts des maraîchers en amendements de 50% en moyenne. Cependant, le réseau ne s'étend pas sur toute la zone. Elle n'est disponible qu'à Pikine Ouest et Nord. Les exploitants du Technopole sont tenus de creuser fréquemment d'autres puits pour amoindrir les effets de la salinisation.

³ Nous avons subdivisé la Grande *Niaye* en trois zones, conformément au type d'eau utilisé pour l'irrigation : Pikine Nord, Pikine Ouest et Technopole. Nous développons ce choix dans la partie Méthodologie.

Photo 2. Adduction d'eau usée à Pikine Nord.



Cliché : Diop (déc. 2016)

Les eaux de mélange consistent en une dilution des eaux de *céanes* par les eaux usées (photo 3). Les maraîchers utilisent leur branchement à l'ONAS pour remplir les *céanes* dont le niveau de salinité ne permet plus l'irrigation. Le mélange sert aussi à diluer l'eau usée jugée trop « chaude » ou trop boueuse pour être utilisée seule. Ces eaux sont les plus utilisées après les *céanes* et sont localisées uniquement aux endroits où les branchements de l'ONAS sont présents (Pikine Ouest et Nord).

Photo 3. Puits de mélange à Pikine Ouest



Cliché : Diop (déc. 2016)

Dans cette étude, nous avons choisi la méthode d'échantillonnage combinée. Elle est recommandée dans les milieux fragmentés où le niveau d'intensité du contaminant n'est pas le même. C'est le cas de la *Niaye* de Pikine où les exploitations maraîchères sont disséminées sur quatre sites : Pikine Nord, Pikine Ouest, Technopole et Guédiawaye, différemment contaminés. Donc, un échantillonnage aléatoire systématique aurait du mal à y être adapté à cause de l'irrégularité du terrain. De la même manière, la méthode aléatoire simple cacherait l'hétérogénéité du milieu.

Au total, 29 points d'eau ont été suivis entre décembre 2016 et mai 2017 (figure 2). Pour le codage des échantillons, nous avons utilisé les initiales des noms de site.

Ainsi, nous notons PO pour Pikine Ouest, PN pour Pikine Nord, GD pour Guédiawaye et TP pour Technopole.

Figure 2. Localisation des points de prélèvement



Source : Diop, 2018

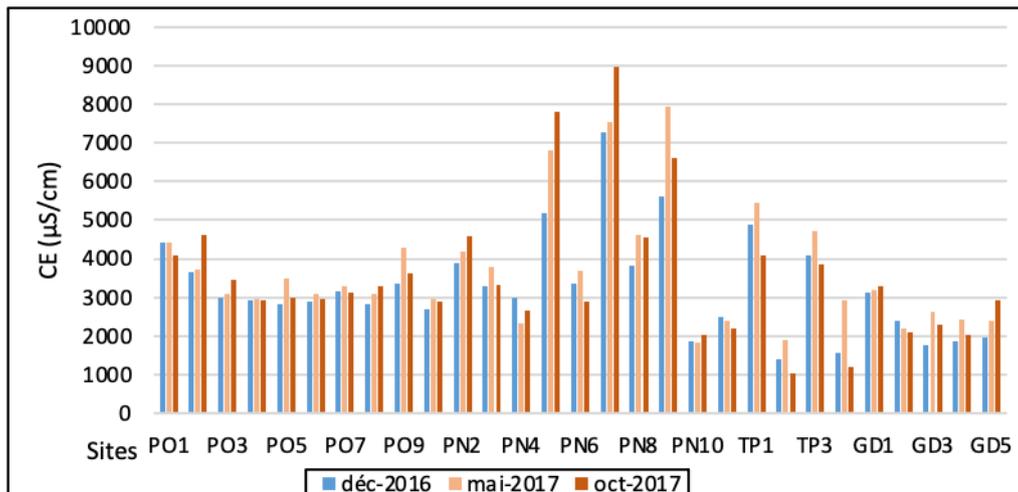
Le prélèvement des valeurs de conductivité électrique (CE) s'est fait *in situ* à l'aide d'un conductimètre de type HI 98130 avec une précision de 0,01. Les résultats obtenus ont été cartographiés par interpolation spatiale, à l'aide du logiciel ArcGis 10.2. La partie suivante présente et analyse les résultats.

2. Résultats

2.1. Une salinité élevée toute l'année

L'analyse de la conductivité électrique révèle une moyenne de 3497 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur les trois saisons. Ce qui signifie que la salinité est très élevée sur la zone toute l'année. Cependant, on note une variation saisonnière de la moyenne qui est de 3261 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche humide. Elle augmente en saison sèche chaude avec 3701 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puis baisse en saison pluvieuse à 3530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le maxima atteint 8960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octobre pour un minima de 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mai (figure 3).

Figure 3. Variabilité saisonnière de la salinité



Source : Diop, 2018

Dans l'ensemble, les valeurs de conductivité sont élevées à très élevées. La salinité est plus sévère en saison sèche chaude sauf pour les sites PO1, PN4, PN10, PN11 et GD2. Les valeurs sont très élevées à PN5, PN7, PN9 et TP1 qui ne descendent pas en dessous de 4000 µS/cm en saison sèche froide et dépassent 5000 µS/cm en saison sèche chaude. PN5, PN7 et PN9 fluctuent même entre 6500 µS/cm et 8000 µS/cm. L'observation sur le terrain montre que ces points sont soit situés en bas de pente, soit des sources d'eaux usées, soit éloignés des affleurements de la nappe. Ces trois paramètres vont déterminer le reste des analyses au plan spatial comme au plan du type d'eau utilisé. Ainsi, les points les moins salés sont les eaux usées (PN1), situés en bas de pente (PN4, PN10) ou s'éloignent du lac (TP2, TP4). Sur le terrain, les maraîchers essaient d'adapter à cette configuration en creusant les nouvelles *céanes* le plus loin possible des affleurements de la nappe. Le tableau 1 permet de comparer les variations de la salinité sur la séquence d'observation.

Tableau 1. Classes de salinité en décembre 2016, mai et octobre 2017 (Zaiz, 2015)

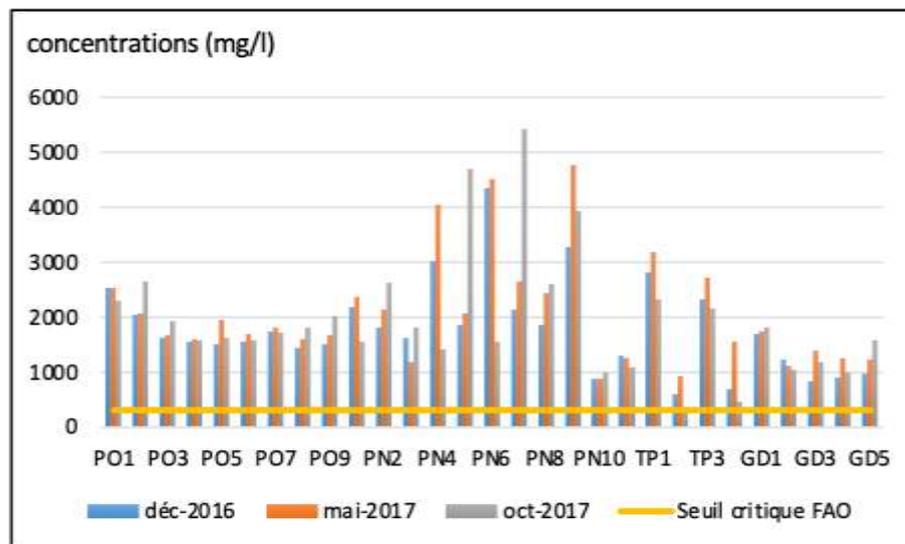
Conductivité (µS/cm) à 25°C	Degré de minéralisation	% des points d'eau		
		déc-16	mai-17	oct-17
< 450	Très faible	0	0	0
450 - 750	Faible	0	0	0
750 -1500	Moyen	3	0	7
1500 -2300	Moyennement élevé	17	10	14
2300 -3000	Élevé	31	28	28
> 3000	Très élevé	48	62	51

Source : Diop, 2018

Le tableau 1 montre que la salinité varie de la classe moyennement élevée à très élevée. En décembre, seule une source d'eau enregistre une salinité moyenne, soit 3% du total des sites étudiés. En mai, on note une dominance de la classe très élevée, soit

62% des sources contre 48% en décembre et 51% en octobre. Au total, 90% des eaux d'irrigation sont très salées en mai contre 79% en octobre et décembre. Si l'on compare la salinité des points d'eau avec les normes de la FAO (1988)⁴, nous constatons que tous les points dépassent le seuil critique défini pour apprécier l'utilisabilité de l'eau par rapport aux concentrations en milligrammes de sel par litre (figure 4).

Figure 4. Concentration des eaux d'irrigation par rapport aux normes FAO



Source : Diop, 2018

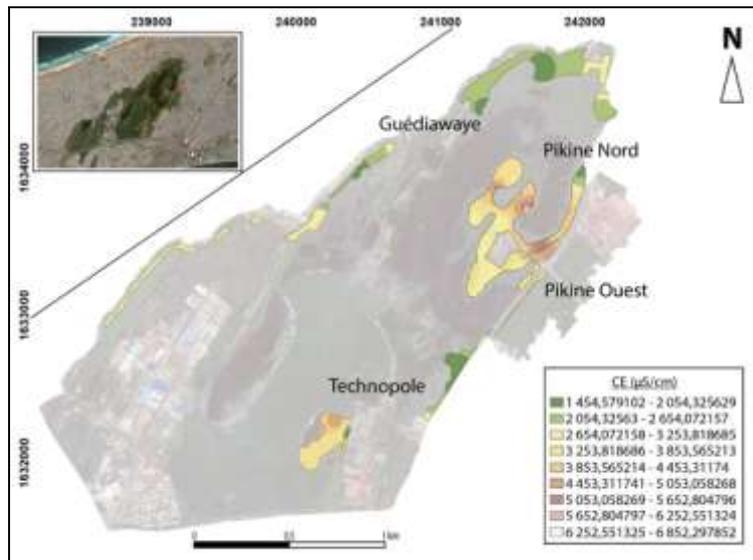
Ainsi, malgré une fluctuation intra annuelle, les eaux de la Grande Niaye de Pikine restent salées sur l'ensemble des trois saisons, maintenant les concentrations au-delà du seuil critique défini par la FAO. Au plan spatial, la distribution de la salinité semble épouser la configuration topographique du site.

2.2. Des taux en progression de décembre à octobre

En décembre 2016, les taux de salinité révèlent une fragmentation de la zone en entités plus ou moins homogènes (Figure 5). La salinité est moins sévère dans la zone de Guédiawaye et les parties septentrionales de Pikine Nord et du Technopole où l'essentiel des points enregistre entre 1000 et 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Pikine Ouest et sur la majeure partie du Technopole, l'eau est très salée (entre 3000 et 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Nous identifions même des poches de salinité très sévère entre Pikine Nord, Ouest et le Technopole qui affichent entre 5000 et 6800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mais la majeure partie de la zone étendue entre la Partie Nord de Pikine Ouest, le Sud de Pikine Nord, l'Ouest de Guédiawaye et le Sud du Technopole enregistre une salinité moyenne à moyennement élevée (entre 2000 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

⁴ Le seuil critique de la FAO est de 300 mg/l

Figure 5. Répartition de la salinité en décembre 2016

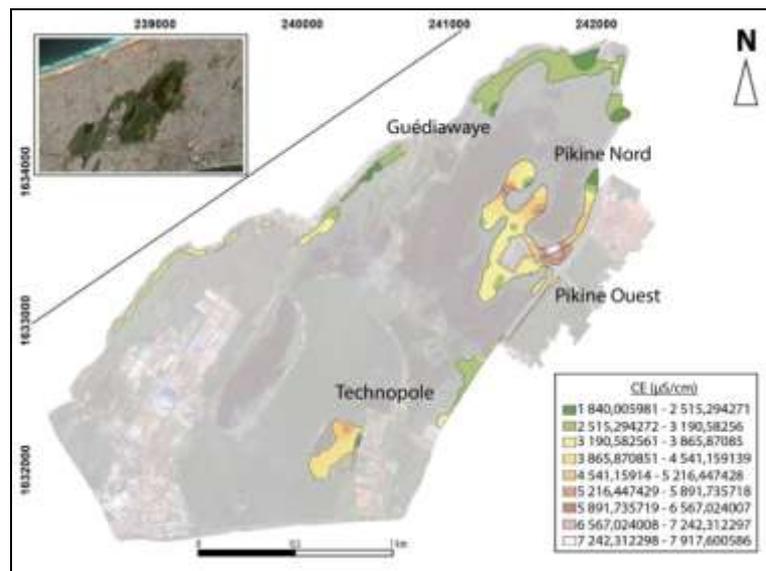


Source : Diop, 2018

En mai 2017, nous observons la même distribution qu'en décembre 2016 avec cette fois-ci une légère élévation des valeurs (1800 à 7900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 1450 et 6850 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (figure 6). Il faut noter aussi la présence de points moins salés qu'en décembre à Pikine Ouest et Nord. Quant à la partie Nord du Technopole, elle a évolué vers une salinité plus importante par rapport à la saison précédente. De plus, les points à fortes concentrations observés à Pikine Ouest et Nord ont aussi connu une augmentation à partir de décembre. Les valeurs varient maintenant entre 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 7900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 5000 et 6800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la saison précédente. Cependant, la baisse des valeurs de conductivité de certains points à Pikine Ouest et Nord en saison sèche peut entrer en contradiction avec la logique de saisonnalité de la salinité.

En effet, cette baisse s'explique par quelques stratégies développées par des producteurs. Ces derniers vidant l'eau des puits salinisés et les élargissent pour atteindre d'autres sources plus éloignées du lac central, donc plus douces. Dans la plupart des cas, l'eau obtenue est moins salée que la précédente. Ceci est d'autant plus compréhensible que les zones concernées sont celles qui enregistrent les valeurs les plus élevées (Pikine Nord et Ouest).

Figure 6. Répartition de la salinité en mai 2017

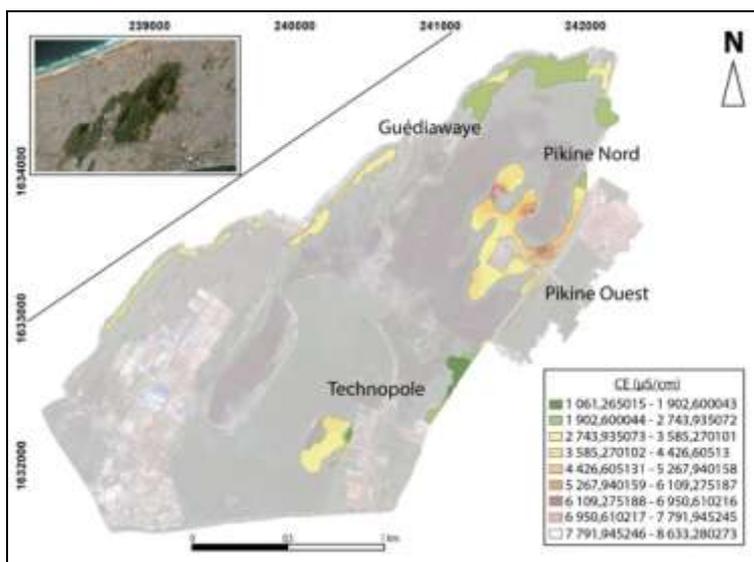


Source : Diop, 2018

En octobre 2017, nous remarquons une salinité élevée à Guédiawaye par rapport aux saisons précédentes (figure 7). Cette partie moins salée de la Grande Niaye connaît une minéralisation progressive de ses points d'eau. Également, les points à salinité sévère à Pikine Ouest et Nord ont encore évolué. Ils enregistrent entre 6900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 8600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 7900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mai et 5000 et 6800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en décembre. A Pikine Ouest et Nord, les poches moins salées se sont encore minéralisées. Et au Technopole, la majeure partie reste moyennement salée même si certaines poches de salinité sévère enregistrent une baisse.

La faible pluviométrie enregistrée en 2017 a fait qu'on a eu comme une continuité de la saison sèche chaude. Les taux de minéralisation qui devaient en théorie baisser, ont connu une hausse en cette fin de saison pluvieuse.

Figure 7. Répartition de la salinité en octobre 2017



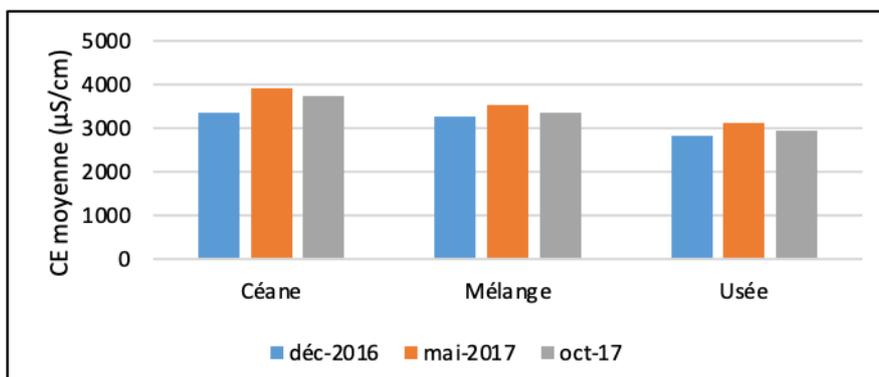
Source : Diop, 2018

Dans la partie qui suit, nous analysons la salinité selon les types d'eau. Les résultats montrent que les eaux usées sont moins salées que les *céanes* et les mélanges.

2.3. Des céanes très salinisées aux mélanges pour cultiver toute l'année

Les maraîchers de la Grande Niaye de Pikine arrosent avec les eaux de *céanes*, les eaux usées ou le mélange des deux. Nous avons précisé dans la partie précédente que les *céanes* étaient les plus utilisées, car étant plus accessibles que les eaux usées, dont le réseau ne desservait que Pikine Nord et Ouest. Nous avons aussi évoqué le fait que les mélanges étaient également plus utilisés par rapport aux eaux usées afin de diluer la boue et limiter la chaleur. En clair, les *céanes* représentent 62% des points observés contre 25% de mélanges et 13% d'usées. L'analyse montre que la conductivité des eaux usées est moins faible suivie de celle des mélanges, les *céanes* étant plus salées (figure 8).

Figure 8. Comparaison de la salinité en fonction des sources d'irrigation



Source : Diop, 2018

Les eaux usées sont moins salées. Elles atteignent un maxima de 3133 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche chaude contre 2835 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche froide et 2935 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison pluvieuse. Les *céanes* sont plus concentrées avec 3899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mai. Elles connaissent une légère baisse en octobre, avec 3728 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3353 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en décembre. Pendant cette période, les mélanges enregistrent à peu près les mêmes valeurs, soit 3269 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cependant en mai, elles n'évoluent pas autant que les *céanes*. L'effet de dilution diminue la salinité quand bien même celle-ci reste élevée pendant cette période, 3519 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs sont sensiblement les mêmes en saison pluvieuse et saison sèche froide, soit respectivement 3358 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les mélanges et 2935 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2835 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux usées. Les *céanes* présentent une différence plus élevée entre ces deux saisons, 3728 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 3353 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Globalement, on note un effet atténuant des eaux usées sur les *céanes*. Néanmoins, les impacts sur la réduction de la conductivité sont minimes surtout en saison sèche froide. Il en est de même pour la saison pluvieuse si les précipitations ne sont pas suffisantes comme c'est le cas en 2017.

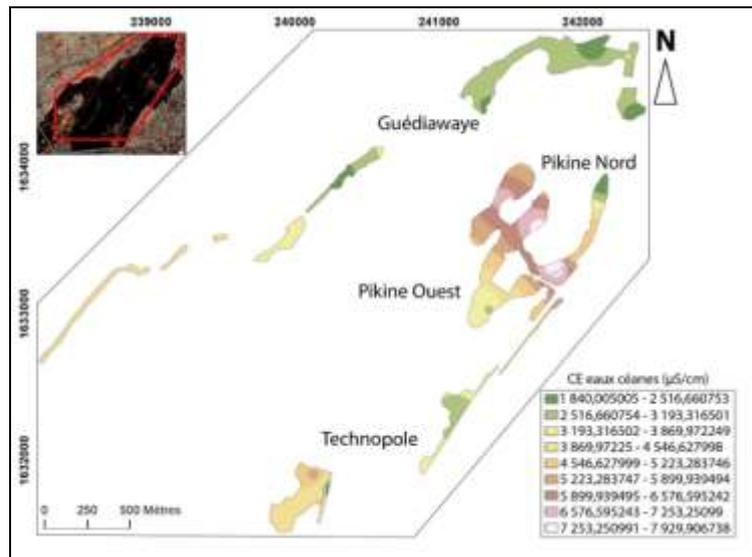
Si l'on analyse chaque type d'eau indépendamment, nous observons une distribution spatiale très fortement influencée par les caractéristiques géomorphologiques du site.

2.3.1. Le gradient dunaire, décisif dans la distribution saisonnière de la salinité

Sur la figure 9, nous observons que les *céanes* affichent les valeurs de conductivité les plus élevées, notamment à Pikine Nord et Ouest et dans la partie Nord du Technopole. Cependant, c'est à Guédiawaye que l'on retrouve les valeurs les plus faibles (entre 1800 et 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

A Guédiawaye, en effet, les surfaces agricoles sont situées sur les flancs et au pied des dunes ogoliennes. Ceci fait que la teneur saline des *céanes* est davantage influencée par le gradient de la masse ogolienne stockant essentiellement de l'eau douce. De ce fait, la qualité de l'eau est bonne même au maximum de la saison sèche chaude. Cette situation ne se présente pas au Technopole et à Pikine Nord et Ouest où les parcelles se sont installées pour l'essentiel sur une nappe fortement diluée par le lac salé qui enregistre 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison sèche. A Pikine Nord, la conductivité des *céanes* varie entre 5800 et 7900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est très proche des teneurs du lac. Les poches résistant à la salinisation sont celles qui s'en éloignent et communiquent avec le continent. C'est pourquoi dans la partie septentrionale de Pikine Nord et la frange Est du Technopole, nous avons des teneurs similaires à celles de Guédiawaye. Dans les zones qui n'ont pas cet avantage, les *céanes* sont remplacées par les eaux usées et/ou de mélange.

Figure 9. Distribution spatiale de la salinité des *céanes* en mai 2017

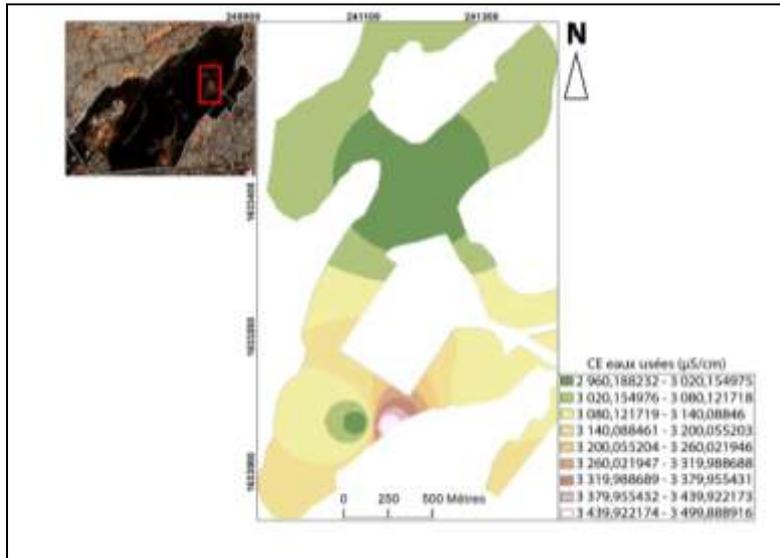


Source : Diop, 2018

2.3.2. Les eaux usées, une aubaine à Pikine Nord et ouest

Les eaux usées sont les moins salées sur toute la Grande Niaye. Elles constituent un avantage pour les maraîchers de Pikine. Toutefois, nous notons une dichotomie nord-sud de la salinité (figure 10). La partie Nord est moins salée. Ceci s'explique par le fait qu'au niveau de ces parcelles, les eaux usées ne sont pas en contact avec une autre source avant de toucher la plante. Elles transitent directement par des tuyaux dont les pommes d'arrosage servent d'aspenseurs aux cultures. Cette eau est généralement de salinité constante autour de 2900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ toutes saisons confondues. Par contre dans la moitié Sud, on retrouve souvent des *céanes* tariées servant de réservoir d'eau usée. Ce contact avec l'eau salée même en faible quantité modifie la teneur de l'eau qui se retrouve plus minéralisée. C'est la situation à laquelle on assiste dans la partie sud où les valeurs peuvent frôler 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il faut préciser aussi que ce ne sont pas des mélanges en tant que tels puisque le réservoir en question contient peu ou pas d'eau souterraine alimentée par les épisodes de résurgence.

Figure 10. Distribution spatiale de la salinité des eaux usées en mai 2017

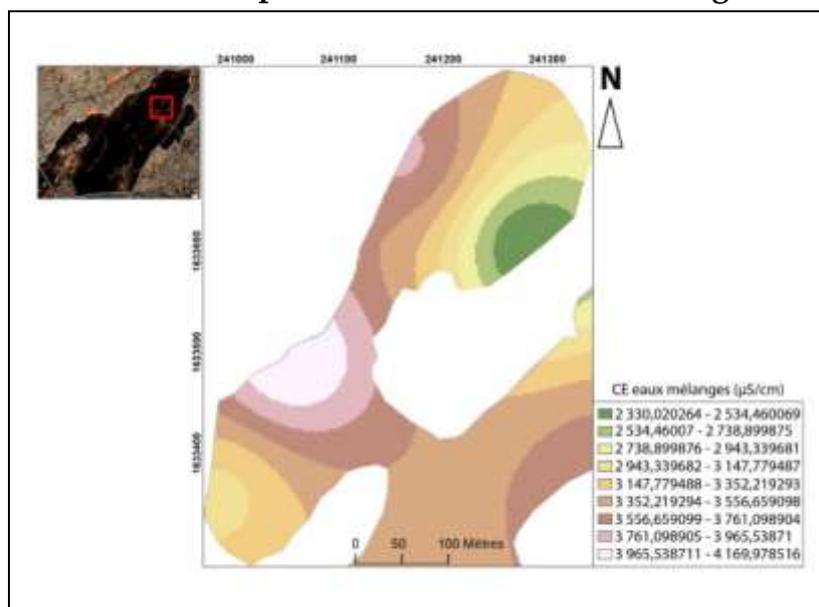


Source : Diop, 2018

2.3.3. Les mélanges, une solution d'atténuation

Les taux de salinité des mélanges sont intermédiaires entre ceux des *céanes* et des eaux usées. Ils varient entre 2000 et 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 11). Selon le degré de mélange, on enregistre les valeurs les plus élevées sur la partie Ouest et Nord-ouest mais, diminuant vers l'est. Dans la partie Sud, la salinité est plus homogène autour de 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tandis que les taux les plus faibles (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont enregistrés au Nord-ouest. Globalement à Pikine Nord, la dilution des *céanes* par les eaux usées a un effet atténuant pour la salinité. C'est d'ailleurs ce qui justifie ce procédé surtout en saison sèche chaude où les *céanes* deviennent pour l'essentiel inutilisables.

Figure 11. Distribution spatiale de la salinité des mélanges en mai 2017



Source : Diop, 2018

Globalement, l'analyse montre que les *céanes* sont plus salées suivies des mélanges et des eaux usées. Toutefois, si l'on se réfère aux normes OMS en matière de restrictions à l'irrigation, les résultats montrent que toutes les eaux d'irrigation comportent un certain degré de restriction. En effet, selon l'OMS, il est recommandé d'utiliser les eaux dont la salinité ne dépasse pas 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par contre, le degré de restriction est faible à modéré pour les eaux entre 700 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Au-delà de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il est fortement déconseillé d'utiliser l'eau pour l'irrigation. Nous constatons cependant que 48% des points d'eau comportent une restriction faible à modérée et 52% sont très fortement déconseillées (tableau 2).

Tableau 2. Restrictions des eaux à l'irrigation selon les normes OMS

Sites	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	<700	entre 700 et 3000	>3000
	Degré de restriction imposé à l'utilisation		
	Aucune	Faible à modéré	Important
PO1			4070
PO2			4620
PO3			3470
PO4		2920	
PO5		2990	
PO6		2950	
PO7			3140
PO8			3280
PO9			3620
PN1		2880	
PN2			4590
PN3			3310
PN4		2670	
PN5			7810
PN6		2900	
PN7			8960
PN8			4550
PN9			6600
PN10		2030	
PN11		2180	
TP1			4090
TP2		1050	
TP3			3850
TP4		1200	
GD1			3280
GD2		2100	
GD3		2310	
GD4		2020	
GD5		2920	

Source : Diop, 2018

3. Discussion

La comparaison de nos résultats avec ceux d'études précédentes montre une tendance évolutive de la salinité. En effet, les mesures de M.L Ndiaye (2005) montrent que les *céanes* enregistrent un taux moyen de 3060 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les eaux usées 3870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et les mélanges 4430 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ses résultats consolident la salinisation des eaux d'irrigation à Pikine. Ils diffèrent toutefois des nôtres dans l'ordre des types

d'eau. En effet, ses études montrent que les *céanes* sont moins salées que les eaux usées et les mélanges. Tandis que nous avons conclu qu'elles étaient plus salées. Ceci pourrait s'expliquer par une hausse progressive de la salinité des *céanes* depuis 2005 (3060 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2005 contre 3813 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2017).

Dans la même dynamique, M.L. Ndiaye et *al.* (2010) à l'issue de douze campagnes de prélèvement saisonnières entre 2006 et 2008 sur 126 échantillons d'eaux usées brutes et de *céanes* à Pikine et à la Patte d'oie confirment les taux élevés de CE qui dépassent les normes OMS. Les eaux de *céanes* ont en moyenne 4822 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE contre 3579 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux usées brutes. Comparés à nos moyennes en mai et octobre 2017 (respectivement 3813 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3034 $\mu\text{S}/\text{cm}$), les taux ont baissé en moyenne de 1243 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les *céanes* et de 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux usées. Nous précisons aussi que les eaux usées dont il a fait l'étude n'ont pas été traitées. Il s'agit des eaux usées domestiques détournées clandestinement par les maraîchers à partir des canaux d'évacuation des eaux usées de l'ONAS. Ces pratiques ont, affirme-t-il, été interdites depuis mai 2008. Toutefois, il en existe toujours dans la zone du Technopole.

Si l'on s'intéresse davantage à la question des eaux usées, M. Gaye et S. Niang (2010) affirment que 37,6 % des maraîchers trouvent que ces eaux sont riches en fertilisants. En plus, l'accès est gratuit pour 33,4 %, ce qui justifie leur utilisation. Ces eaux sont en outre, selon Gueye-Girardet (2010), riches en éléments minéraux et permettent d'économiser 50 % de fertilisants NPK, 25% d'urée et 40% de fumure organique.

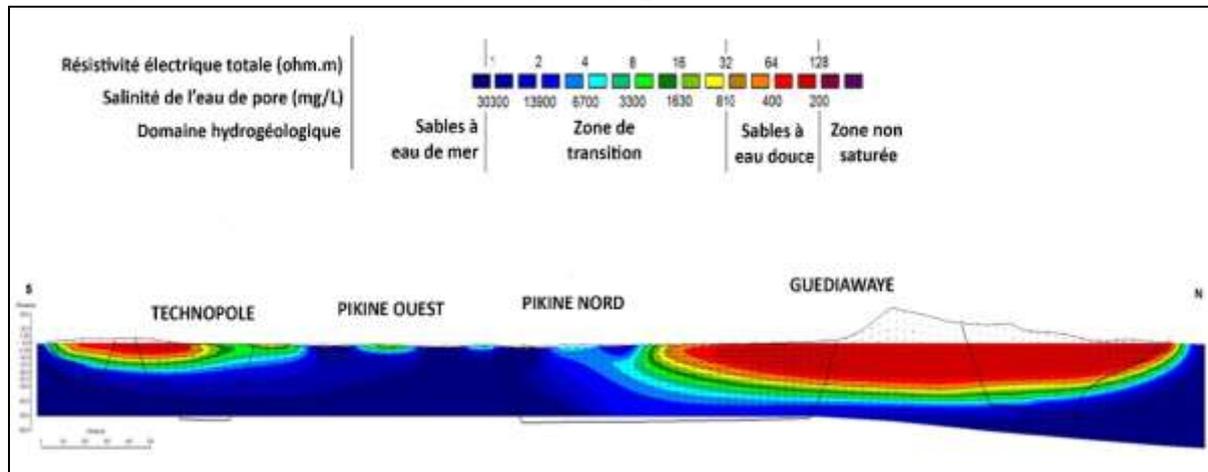
Les eaux usées donneraient aussi plus de rendement et un meilleur produit dans un cycle plus court. L'auteur affirme que l'aubergine amère (*jaxatu*) et la laitue (salade) arrosées avec ces eaux sont plus volumineuses que celles cultivées avec l'eau de *céane*. Le cycle de la laitue est réduit de 5 à 10 jours selon les maraîchers (20 à 25 jours au lieu de 30 à 35 jours). Cependant, ces produits pourrissent plus vite. Ses résultats sur les eaux de *céanes* font état d'une CE autour de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour les mélanges, il affiche 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

D'une manière générale, la confrontation des études sur la salinisation des eaux de la *Niaye* Pikine montre une persistance du phénomène depuis plusieurs années. Si la salinité peut varier entre les périodes, les tendances sont au-dessus des normes OMS, donc déconseillées pour l'irrigation.

Il faut noter aussi que la salinité des eaux d'irrigation a une explication hydrogéologique comme ébauché dans l'introduction. En effet, J.C. Comte (2008) a étudié par tomographie électrique le comportement souterrain de la séquence hydrogéologique de la *Niaye* de Pikine. Le profil transversal qu'il a dressé part du cordon littoral de Cambérène, au nord, jusqu'au-delà de l'autoroute à péage, au sud. La modélisation montre un complexe hydrogéologique fortement influencé par les

eaux marines. Il explique cette configuration par le fait que les formations sableuses quaternaires, inchiriennes à actuelles, peu importe leur origine continentale ou océanique, fonctionnent au plan hydrogéologique comme un réservoir unique dépourvu de parois latérales. Ce qui fait qu'elles sont en contact direct avec l'océan (figure 6).

Figure 6. Modélisation hydrogéologique de la Grande Niaye de Pikine



Source : Comte (2008) ; adapté par Diop (2018)

Nous remarquons que le profil est traversé du Sud au Nord par l'eau de mer. Les formations dunaires du Technopole et de Guédiawaye recèlent une nappe d'eau douce dont la plus ou moins résistance conditionne le niveau piézométrique de l'eau salée. En effet, l'auteur explique que la nappe du massif de l'ogolien (Guédiawaye) se confond avec celle de Cambérène avec laquelle elle forme un « *barrage hydraulique naturel* » (p. 146). Ceci empêche l'intrusion océanique de surface vers les lacs et dépressions. Cette analyse corrobore les faibles valeurs de conductivité que nous avons enregistrées à Guédiawaye (moins de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ toutes saisons confondues) et dans une moindre mesure, sur la partie septentrionale de Pikine Nord (2850 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le site étant sous l'emprise du gradient ogolien d'eau douce. La même situation est notée sur les deux *céanes* les plus méridionales du Technopole (TP2 et TP4) qui enregistrent en moyenne 1671 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour ce cas-ci, l'auteur argumente que ce site jadis envahi par les fortes marées, a été isolé de la mer, au sud, par le remblai du chemin de fer Dakar-Niger. Ce sont ces aménagements qui se sont interposés entre le gradient dunaire et la nappe salée.

Par contre, dans la dépression de Pikine Ouest, l'écoulement est centripète. Ceci est dû aux prélèvements par évaporation des eaux souterraines. Nous ajouterons aussi la « *sursollicitation* » de ce réservoir par les maraichers. La variabilité saisonnière de la salinité dans ce site serait donc due, selon A. Martin (1970) repris par J.C. Comte (2008), aux reprises évaporatoires en saison sèche qui provoque l'abaissement du plan d'eau, mais aussi aux rechargements par les eaux de pluie en saison hivernale. Il

faut noter que la reprise évaporatoire l'emporte sur les remontées de la nappe grâce aux eaux douces de la saison pluvieuse. Ceci fait que les remontées salines dominent les lentilles douces et saumâtres. Nous avons ici, l'explication de la salinité excessive du lac de la *Niaye* de Pikine (9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Conclusion

Globalement, les résultats montrent des eaux salées à très salées. Les *céanes* qui sont la première source d'irrigation enregistrent les valeurs les plus élevées, suivies des eaux de mélange et des eaux usées. L'utilisation de ces eaux suit la tendance de leur salinité. Celle des *céanes* est palliée par le creusement d'autres puits ou l'utilisation des eaux usées. Celle-ci n'est pas disponible partout, sauf à Pikine Nord et Ouest. Au Technopole où la seule source reste les *céanes*, l'irrigation devient difficile à mesure que la saison pluvieuse s'éloigne. Par contre à Guédiawaye, les eaux sont les plus douces grâce au gradient du système dunaire plus fort que le biseau salé. Les moyennes sur les trois saisons montrent que toutes les eaux sont restreintes par les normes OMS, donc impropres à l'irrigation. Elles comportent des risques importants de dégradation des sols par salinisation et dans une moindre mesure, par alcalinisation.

Références bibliographiques

COMTE Jean-Christophe, 2008, *Apport de la tomographie électrique à la modélisation des écoulements densitaires dans les aquifères côtiers. Application à trois contextes climatiques contrastés (Canada, Nouvelle-Calédonie, Sénégal)*, thèse de doctorat en sciences à l'Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 195 p.

DIOP Khalifa, 2018, *L'agriculture périurbaine dans la Grande Niaye de Pikine (Dakar-Sénégal) : contraintes, enjeux et perspectives de gestion*, thèse de doctorat ès Lettres et Sciences Humaines, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal, 140 p.

FABRE Jean (dir.), 2014, *Afrique de l'Ouest : Introduction Géologique et Termes Stratigraphiques*, Lexique stratigraphique international, Nouvelle édition n°1, Paris, Pergamont Press SARL, 426 p.

FAO, 1988, « La qualité de l'eau en agriculture », *Bulletin d'irrigation et de drainage*, 29 *Revel*, 181 p.

GAYE Malick et NIANG Seydou, 2010, *Manuel des bonnes pratiques de l'utilisation saine des eaux usées dans l'agriculture urbaine*, ENDA RUP, Dakar, 131 p.

GUEYE-GIRARDET Anne, 2010, *Évaluation des pratiques d'irrigation, de fertilisation et d'application de pesticides dans l'agriculture périurbaine de Dakar, Sénégal*, thèse de

doctorat, Universités de Genève et Lausanne, Faculté des Géosciences et de l'Environnement, Institut de Minéralogie et de Géochimie, 276 p.

MARTIN Alain, 1970, *Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert (République du Sénégal) : Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar, Notice et cartes hydrogéologiques 1/50 000*, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France.

NDIAYE Mamadou Lamine, 2005, *Impacts des eaux usées sur l'évolution chimique et microbiologique des sols : étude de cas à Pikine (Dakar-Sénégal)*, diplôme d'études supérieures ès sciences naturelles de l'environnement, Université de Lausanne, Suisse, 77 p.

NDIAYE Mamadou Lamine et al., 2010, « Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal) », *Vertigo*, Volume 10, n°2, 20 p.

NIANG Seydou, 2002, *Utilisation des eaux usées et l'agriculture périurbaine*, Enda Tiers-Monde, Dakar, 354 p.

QUENSIERE Jacques et RETIERE Alain (dir.), 2013, *Vulnérabilités de la région de Dakar au changement climatique*, IRD, Dakar, 117 p.

TANDIA Adama et al., 1997, « Origines des teneurs élevées en nitrates dans la nappe phréatique des sables quaternaires de la région de Dakar, Sénégal », *Sécheresse*, 8, p. 291-294.

ZAIZ Issam, 2015, *Étude qualitative des eaux de la nappe du complexe terminal dans la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien)*, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 183 p.