



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 17(1): 173-191, January 2023

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Impacts de la qualité des ressources en eau sur la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac de Technopole et sur les produits agricoles dans cette zone humide de Pikine (Dakar, Sénégal)

Mouhamadou Thierno GUEYE^{1*}, Dame BOP¹, Sabrina SORLINI², Aissatou NDOYE³ et Omar GUEYE⁴

¹Université Cheikh Anta Diop de Dakar Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal.

²Università degli studi di Brescia, Laboratorio di ricerca sur les technologies appropriées pour la gestion de l'environnement dans les pays à ressources limitées B.P. 25122 Brescia, Italie.

³Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal, Laboratoire de décharge et de contrôle, B.P. 13428, Sénégal.

⁴Université Amadou Makhtar Mbow B.P. 45 927 Dakar Nafa VDN, Sénégal.

*Auteur correspondant ; E-mail : mtg333@yahoo.fr ; Tel.: +221 777013236

Received: 06-11-2022

Accepted: 25-01-2023

Published: 31-01-2023

RESUME

L'objectif général de ce travail était l'évaluation de la qualité des ressources en eau dans cette zone humide du Technopole de Pikine afin d'étudier les risques de dégradation de la biodiversité de l'écosystème aquatique et des produits agricoles. Ainsi, vingt-sept (27) prélèvements de ces différentes ressources en eau ont été analysés. L'étude montre la salinité du lac élevée (21g/L), provoquerait la mort de certaines espèces aquatiques, animales et végétales. En plus, les concentrations excessives des MES (85,9 mg/L), de la DCO (1789 mg/L) et de l'azote total (67,6 mg/L) diminuent l'oxygène dissous ce qui a provoqué l'absence de poissons et d'autres animaux aquatiques dans les zones du lac proche de la station d'épuration du Technopole. En ce qui concerne les eaux usées traitées et utilisées pour l'irrigation, les teneurs des MES, de la DCO et de l'azote total sont en moyenne 25 fois, 8 et 9 fois plus élevées que leur valeur limite respectivement sans compter la charge microbienne excessive (1 006 650 U/100mL). Par conséquent, une dégradation de la biodiversité et une baisse des rendements agricoles ont été constatées d'où la nécessité d'explorer la phytoépuration de ces ressources en eau dans cette zone du Technopole.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Salinité, eaux usées, irrigation, valeur limite, risque.

Quality impact of water resources on the lake's aquatic ecosystem biodiversity of Technopole and on agricultural products in this Pikine wetland

ABSTRACT

The general objective of this work was to assess the quality of water resources in this wetland of the Pikine Technopole in order to study the risks of degradation of the biodiversity of the aquatic ecosystem and the agricultural products. Thus, twenty-seven (27) samples from these different water resources were analyzed. The study shows the high salinity of the lake (21g/L), would cause the death of certain aquatic, animal and plant

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.13>

9315-IJBSCS

Special issue; Colloque International, BF & SEN

species. In addition, excessive concentrations of suspended solids (85.9 mg/L), COD (1789 mg/L) and total nitrogen (67.6 mg/L) decrease dissolved oxygen, which caused the Absence of fish and other aquatic animals in the areas of the lake near the Technopole wastewater treatment plant. With regard to wastewater treated and used for irrigation, the contents of suspended solids, COD and total nitrogen are on average 25 times, 8 and 9 times higher than their limit value respectively without taking into account the load excessive microbial (1,006,650 U/100mL). Consequently, a degradation of biodiversity and a drop in agricultural yields have been observed, hence the need to explore the phytoremediation of these water resources in this area of the Technopole.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Salinity, wastewater, irrigation, limit value, risk.

INTRODUCTION

La préservation des zones humides est un enjeu écologique important, car ces espaces naturels abritent une part essentielle de la biodiversité et procurent un grand nombre de services à l'environnement et à l'homme. Ainsi, les écosystèmes nous procurent des avantages inestimables. Parmi ces bénéfices nous avons un climat stable et un air respirable; la fourniture en eau, en nourriture et en matériaux de toutes sortes; et la protection contre les catastrophes et les maladies. En effet, les écosystèmes humides jouent des fonctions socio-économiques importantes pour le développement de la région de Dakar et de ses habitants. Cependant, partout dans le monde, les écosystèmes font face à de sérieuses menaces. Des forêts sont détruites, des rivières et des lacs sont pollués, les zones humides et les tourbières sont drainées, les côtes et les océans sont dégradés et subissent la surpêche, les sols montagneux sont érodés, et les terres agricoles et les prairies sont surexploitées. En fait, les cycles hydrologiques, biologiques et chimiques dans les écosystèmes sont extrêmement complexes. Bien que l'eau douce et les aliments soient les composants essentiels de ces systèmes (Hobbie et al., 1972; Miller et al., 1985; Pate et al., 1982), ils peuvent devenir non équilibrés en raison des activités humaines. Parmi ces activités on peut citer: (1) le développement urbain et rural, ayant pour résultat un écoulement d'eau usée plus intense qui peut apporter des éléments en suspension; (2) l'introduction des fertilisants chimiques et des pesticides en agriculture, provoquant la contamination chimique; (3) les activités de récréation et du tourisme. Ces activités influencent la biologie (organismes marins, faune et flore) ainsi que la physico-chimie du

système (pH, salinité, matière en suspension, etc...). Ainsi, les incidences sur l'environnement changent en fonction de la circulation de l'eau de réception. Les pollutions agricoles alors perturberaient la chaîne alimentaire des espèces aquatiques en déséquilibrant la composition en éléments nutritifs des eaux. Ces modifications ont comme conséquence un changement de leur stabilité écologique (Soto-Jiménez et Páez-Osuna, 2001) qui se traduit par des blooms de phytoplancton (Pagès et al., 2001) et des crises anoxiques (Chapelle et al., 2001) qui pourraient dégrader leur biodiversité. Cependant, le Technopole de Pikine abrite une faune riche et variée. Les espèces animales les plus importantes sont les oiseaux d'eau et terrestres, les reptiles (couleuvre, python, tortue, varan, etc.), les poissons notamment d'eau douce ou saumâtre (*Oreochromis*, *Labeo*, *Polypterus*, *Lates*, etc.) (Bop, 2020). La zone est très riche en biodiversité et représente un important site d'exploitation pour les maraichers et les pêcheurs. Ce bassin, dépression verte et humide, est un lieu de rencontre pour les oiseaux migrateurs menacés dans le monde entier. Par ailleurs, la nappe superficielle, le rejet des eaux usées traitées par la station d'épuration (STEP), les canaux d'évacuation des eaux pluviales et stagnantes des quartiers voisins, les eaux pluviales pendant l'hivernage ont renforcé les eaux de la zone inondable qui est devenu un lac où la pêche est pratiquée (Gueye et al, 2022a). En outre, les eaux usées traitées par la station d'épuration (STEP) du Technopole sont réutilisées par les agriculteurs pour cultiver toutes sortes de produits agricoles (Gueye et al., 2022b). Ainsi, l'occupation de la zone par les agriculteurs utilisant les engrais chimiques

et naturels, les pesticides (Diop et al., 2016) sans respecter les normes, la grande quantité des eaux usées reçues par la STEP qui dépasse ses capacités de traitement (Bop et Gueye, 2020), les canaux clandestins raccordés directement dans le lac posent un sérieux problème dans la gestion de l'écosystème du Technopole. Cependant, en raison de la nature variable de la composition des eaux usées traitées (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques), sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des structures compétentes, afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, l'aquaculture, les cultures irriguées par celle-ci et donc sur l'environnement dans son ensemble. Ces problèmes dans la gestion des eaux usées combinés aux activités agricoles semblent être les principales sources de pollution de la nappe phréatique et du lac dans la zone du Technopole. Ainsi, l'étude du niveau de la pollution des ressources en eau sur les risques de dégradation de la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac du Technopole et des produits agricoles dans cette zone humide de Pikine a fait l'objet des analyses des paramètres physicochimiques et microbiologiques.

MATERIEL ET METHODES

La zone d'étude

L'étude est réalisée sur la zone du Technopole, elle est localisée dans la grande Niayes du département de Pikine à Dakar (Figure 1). Niayes est un terme local utilisé pour désigner les dépressions interdunes. C'est une zone humide qui abrite une diversité de ressources naturelles. Il présente des valeurs sociales, économiques, culturelles, esthétiques, récréatives et éducatives (Badiane et al., 2017). Le Technopole constitue la plus grande partie des Niayes de Dakar. S'il en reste peu de choses aujourd'hui, le lieu reste un écosystème unique très important pour les populations riveraines. Il est même considéré comme l'une des rares zones humides de Dakar où se reproduisent des espèces animales rares. En effet, il bénéficie de conditions climatiques, hydrologiques et pédologiques favorables. Il occupe la majeure partie de la population et

reste la première source de revenu. Il implique aussi bien les hommes, les femmes, les jeunes et les vieux encore en activité. La pêche et surtout le maraîchage sont les principales activités de la zone du fait qu'il se pratique durant toute l'année (Figure 2).

Échantillonnage

Ce travail s'est basé d'abord sur une enquête qui a été menée durant le mois de septembre 2017 dans la zone. Pendant cette période, des informations ont été collectées sur l'ensemble des activités de la zone. Les agriculteurs et les pêcheurs ont été interrogés sur leurs différentes activités : la nature et la qualité de l'eau utilisée (nappe phréatique, lac et eaux usées traitées), type d'engrais chimique (pesticide par exemple) ou naturel (fumier de vache, de volaille...) utilisé, les produits agricoles récoltés et les poissons pêchés. Toutes les informations recueillies et constats pendant nos enquêtes nous ont poussés à faire le choix de ces sites de prélèvements.

Au total nous avons choisi vingt-sept (27) sites de prélèvement dont dix (10) sur le lac, onze (11) sur la nappe phréatiques et six (6) sur les eaux traitées par la station de traitement des eaux usées (Figure 3). En effet, les points ont été choisis en fonction de l'exploitation de la zone, soient par les agriculteurs, les pêcheurs, les habitants voisins de la zone ou la présence de la station de traitement des eaux.

Les mesures in situ comme indiqué dans le Tableau 1 concernent le pH et la température effectuées avec l'appareil pH 340i / SET, la conductivité et le taux de solide dissous TDS réalisées avec l'appareil COND 70. D'après nos résultats on a la relation suivante : $CE=1.4 \times TDS$. En outre, L'oxygène dissous a été mesuré par oxi 3310 IDS Set 1. Les analyses des paramètres physicochimiques représentées dans le Tableau 2 (MES, DCO, DBO, nitrates, nitrites) ont été effectuées par l'appareil HACH DR/4000v du Spectrophotomètre du laboratoire de l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS). Concernant l'azote total Kjeldahl et le phosphore total, quelques sites particuliers ont été choisis pour faire les mesures dont les résultats sont présentés dans le Tableau 3. Les

formules utilisées pour calculer l'azote total Kjeldahl et le phosphore total sont:

$$NTK \quad (mg/l) = \frac{20x(\text{Volume prélevé pour la neutralisation} + V_{NaOH})}{\text{Prise d'essai azote (PE)}} \times \text{lecture}$$

$$PT \quad (mg/l) = \frac{40x(\text{Volume prélevé pour la neutralisation} + V_{NaOH})}{\text{Prise d'essai phosphore (PE)}} \times \text{lecture}$$

Les mesures de l'azote Kjeldahl et le phosphore total ont aussi été faites au laboratoire de l'ONAS. Le GPS portable garmin etrex 30 a été utilisé pour faire la géolocalisation.

En outre, le rapport d'absorption de sodium (SAR) a été déterminé dans les eaux usées traitées et destinée à l'agriculture. Les analyses des différentes concentrations des ions ont été effectuées au laboratoire de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Enfin, les valeurs limites des paramètres de rejets des eaux usées dans les eaux de surface au Sénégal (NS 05-061, juillet 2001) et celles pour l'utilisation des eaux usées en irrigation sont rappelées dans le Tableau 4 (OMS, 2006; FAO, 1994).

Tous les prélèvements ont été effectués conformément à la procédure normalisée du CNR IRSA pour les analyses in situ et la procédure standard du laboratoire de l'ONAS pour les autres analyses.

Sites de prélèvements

Le Technopole est une zone vaste de 83 hectares de superficie. Nous avons choisis trois types de site de prélèvement (Figure 4):

La nappe phréatique : Pratiquement tous les agriculteurs de la zone utilisent la nappe phréatique (cèanes) pour l'arrosage des plantes. Ainsi, nous avons choisi onze sites dans la nappe phréatique (P₁, P₂, P₄, P₇, P₉, P₂₅, P₂₈, P₃₀, P'₃₀, P₃₁, P₃₂) où sont prélevés directement les échantillons.

Le lac : Certains points ont été choisis sur la partie du lac plus ou moins pollué où on trouvait beaucoup de poissons (P₈, P₂₂, P₂₆ et

P₂₇) et d'autres sur la partie du lac pollué où on a constaté l'absence de poissons (P₁₀, P₂₃, P₂₄, P₂₉). P₁₁ représente un site pris au niveau du canal raccordé au lac. Ce canal permet de drainer les eaux usées ménagères et les eaux de pluie des quartiers voisins (Dalifort) directement vers le lac.

L'eau traitée par la station d'épuration des eaux usées : Trois types de site de prélèvements ont été choisis pour analyser les eaux traitées et réutilisées par les maraichers.

P₅ : se situe l'eau traitée et stockée par la station de traitement des eaux usées dans une cavité en contact directe avec le sol. Plus d'une trentaine des maraichers de la zone utilisent directement l'eau de ce site par pompage.

P_{30 ONAS} : Ce point est appelé ainsi parce que l'eau traitée par la station d'épuration vient directement à partir des tuyaux jusqu'aux maraichers. Cette eau n'est pas en contact avec le sol jusqu'à l'usage pour arrosage. Ainsi, le prélèvement est fait directement à partir du tuyau.

P_{3 ONAS LAC} et P_{6 ONAS LAC} : Ces points ont été choisis parce que les maraichers du site mélangent l'eau traitée par la station d'épuration et l'eau du lac. D'une part, parce que l'eau du lac dans cette zone est salée et ne peut pas être utilisée seule, et d'autre part parce que l'eau traitée par la station est chaude, contient de la boue et forme une patte sur la partie superficielle du sol. La patte formée par la boue empêche l'eau de s'infiltrer et atteindre les racines des plantes. Par conséquent ils font le mélange pour diminuer les dégâts que peuvent causer l'une ou l'autre des deux types d'eau.

P₃ et P'₃ : Ces points ont été choisis sur le même site que P_{3 ONAS LAC}, mais sont différents. Ils représentent des points qui donnent des prélèvements d'eaux traitées par la station mais stockée dans des cuvettes en contact direct avec le sol. Ce choix a été fait pour vérifier les conséquences directes de stocker les eaux traitées dans le sol avant leurs réutilisations comme dans le cas du P₅. L'échantillonnage est réalisé directement à partir des cuvettes de stockage.

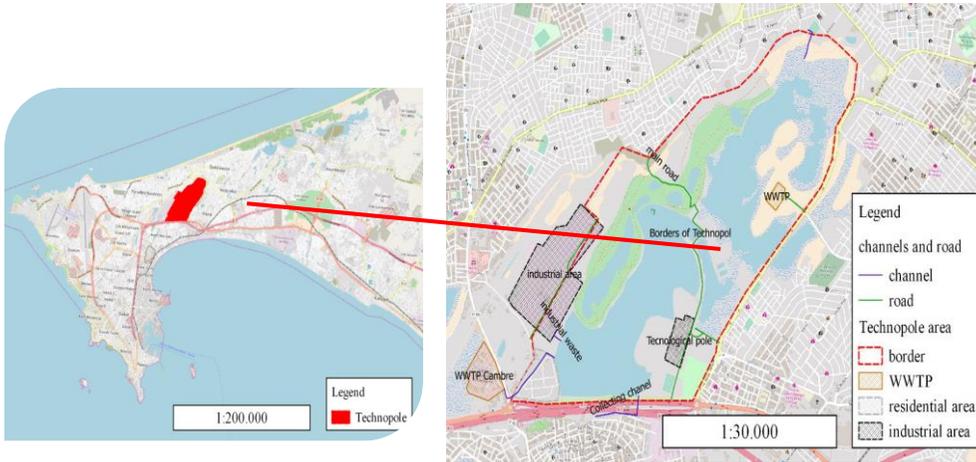


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude du Technopole à Dakar



Figure 2 : Activités de pêche et agricole dans la zone du Technopole



Figure 3 : Points d'échantillonnage dans la zone du Technopole.
(A : nappe phréatique ; B : lac ; C : eaux usées traitées).

Tableau 1: Récapitulatif des mesures in situ dans les ressources en eau.

Ressources en eau	Prélèvement	pH	Cond (mS/cm)	TDS (g/L)	O.D (mg/L)	t°(c)	Salinité (mg/L)	Utilisation
Nappe Phréatique	P ₁	6,7	3,1	2,2	5,7	31,5	1	Agriculture
	P ₂	6,7	2,8	2	1,5	31	0,9	Agriculture
	P ₄	7,7	6,3	4,5	0,3	31,5	2,1	Agriculture
	P ₇	7,4	3,9	2,8	3,7	29,8	1,2	Agriculture
	P ₉	7,3	2,4	1,7	1,1	30,3	0,7	Agriculture
	P ₂₅	7	5,6	4,1	1,6	28,5	2,6	Agriculture
	P ₂₈	7,9	2,9	2,1	5,9	29,5	0,9	Agriculture
	P ₃₀	7	4,9	3,5	1,8	29,4	1,6	Agriculture
	P ₃₀ '	6,7	5,2	3,7	4,8	29,9	1,8	Agriculture
	P ₃₁	7,3	5,2	3,7	2,3	29,5	1,8	Agriculture
	P ₃₂	7	6,7	4,8	1,5	28,8	2,7	Agriculture
Moyenne	7,1	4,4	3,2	2,7	30	1,4		
Lac	P ₆	7,6	6,9	4,9	1,9	30	2,3	Agriculture
	P ₈	8	7,2	5,2	5,4	31,8	2,5	Pêche
	P ₁₀	8,8	50	38,4	3,9	31,7	28,5	Pêche
	P ₁₁	8,9	50,1	38,1	6,3	32,1	27,8	collecter la pluie et les eaux usées
	P ₂₂	8,6	47,9	34	6,8	29,2	26,2	Pêche
	P ₂₃	8,8	52,3	37,2	2,3	29,8	27,7	Pêche
	P ₂₄	8,9	52,7	37,4	10,1	30	28	Pêche
	P ₂₆	8,6	51	36	7,3	30,3	26,4	Pêche
	P ₂₇	8,6	50,6	35,9	6,2	32,5	27,5	Pêche
	P ₂₉	7,4	3,9	2,8	7,5	31,6	1,2	Agriculture
	Moyenne	8,4	37,2	27	5,7	31	21	
Eaux usées traitées	P _{3 L+O}	7,6	4,1	3,3	0	31,6	1,4	Agriculture
	P ₃	7,6	3,8	2,7	0,4	34,7	1,1	Agriculture
	P ₃ '	7,8	3,3	2,7	0,6	29,8	1,1	Agriculture
	P ₅	7,7	4	2,8	0	30,6	1,3	Agriculture
	P _{6O+L}	7,8	3,8	2,7	0,5	31,2	1,2	Agriculture
	P ₃₀	7,4	3,9	2,7	2,2	30,4	1,2	Agriculture
	Moyenne	7,6	3,8	2,8	0,6	31,3	1,2	

Tableau 2 : Résultats des paramètres physico-chimiques et microbiologiques mesurés au laboratoire dans les ressources en eau.

Ressources en eau	Prélèvement	MES (mg /L)	DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg /L)	E. Coli (U/100 mL)	Enterro (U/100 mL)	Coli-chrome (U/100 mL)
Nappe Phréatique	P ₁	41	20	26	68	0,61	10 000	4 560	2 040
	P ₂	10	28	35	43	0,55	9 000	3 450	2 880
	P ₇	28	18	111	38	2,65	3 000	500	1 000
	P ₉	40	13	54	17	1,14	13 000	1 800	12 000
	P ₂₅	35	25	121	55	0,76	11 000	7 680	3 060
	P ₂₈	47	18	53	48	2,09	600	24 000	16 000
	P ₃₀	52	20	153	62	1,05	1 000	9 600	420
	P ₃₂	67	20	98	40	0,93	1 800	5 680	6 760
	Moyen-ne		40	20,2	81,4	46,4	1,2	6 175	7 158
Lac	Prélèvement	MES (mg /L)	DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg /L)	E. Coli (U/100 mL)	Enterro (U/100 mL)	Coli-chrome (U/100 mL)
	P ₆	108	95	264	30	0,6	13000	6900	6300
	P ₁₀	160	58	1789	9	0,01	0	4000	1600
	P ₁₁	102	48	1155	8	0,03	0	24000	4000
	P ₂₂	33	13	970	8	0,01	0	8000	16800
	P ₂₃	118	60	855	12	0,03	0	4000	6000
	P ₂₄	100	73	1065	7	0,03	0	8400	3600
	P ₂₆	31	8	450	7	0,01	0	640	760
	P ₂₉	35	35	66	7	0,13	5000	7440	1500
	Moyen-ne		85,9	48,7	826,7	11	0,1	2250	7922
Eaux usées traitées	Prélèvement	MES (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg /L)	E. Coli (U/100 mL)	Enterro (U/100 mL)	Coli-chrome (U/100 ml)
	P _{3L+O}	2495	375	2951	1	0,03	1700000	308000	404000
	P ₃	1259	220	1875	23	0,03	20000	200000	3200
	P ₅	766	235	1271	10	0,03	2300000	252000	96000
	P ₃₀	358	295	595	2	0,05	6600	0	25900
Moyen-ne		1219,5	281,2	1673	9	0,03	1006650	190000	132275

Tableau 3 : Quelques valeurs des mesures faites sur l’azote et le phosphore dans les ressources en eau

Ressour-ces en eau	Prélè-vement	Volume (NAOH)	Volume (NT) ml	Volume (PT) ml	Lecture (NT)	Lecture (PT)	(NKT) mg/L/N	(PT) mg/L/P
	P ₁	4,80 ml	10	40	1,315	0,23	78,37	6,85
	P ₂	5 ml	20	25	0,147	0,27	4,41	12,96
	P ₇	5,10ml	10	25	0,448	0,38	30	18,3
	P ₉	4,70ml	10	40	0,474	0,14	28,15	4,16
Nappe phréati-que	P ₂₅	4,7ml	10	35	0,067	0,25	3,98	8,48
	P ₂₈	4,65ml	10	40	0,05	0,84	2,96	24,91
	P ₃₀	4,40ml	10	25	0,057	0,29	3,35	13,6
Moyenne	-	-	-	-	-	-	21,6	12,75
Lac	P ₁₀	4ml	10	40	1,455	0,23	84,39	6,67
	P ₁₁ canal	4,8ml	10	40	0,852	0,04	50,78	1,19
Moyenne	-	-	-	-	-	-	67,58	3,93
Eaux usées traitées	P _{3Lac ONAS}	5ml	5	25	1,727	0,23	207,24	82,8
	P ₅	5ml	2	25	1,009	0,40	302,7	19,2
	P ₃₀	4,2ml	5	25	1,907	0,25	222,7	11,68
Moyenne	-	-	-	-	-	-	224,21	37,89

Tableau 4 : Valeurs limites pour le rejet ou l’utilisation des eaux usées en irrigation.

Paramètres	Valeur limite pour l’irrigation (OMS/FAO)	Valeur limite de rejet (NS 05-061, 2001)
pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,5
Temperature [°C]	< 30	< 30
Matière en suspension [mg/L]	<100	<50
Conductivité [mS/cm]	<3	-
TDS [mg/L]	<2000	-
Demande Chimique en Oxygène DCO [mg/L]	-	<200
Demande Biologique en Oxygène DBO₅ [mg/L]	<400	<80
Azote total [mg/L]	<30	<30
Phosphore total [mg/L]	<20	<10
SAR	<8	-
Escherichia coli (U/100mL)	-	<1000 U/100mL

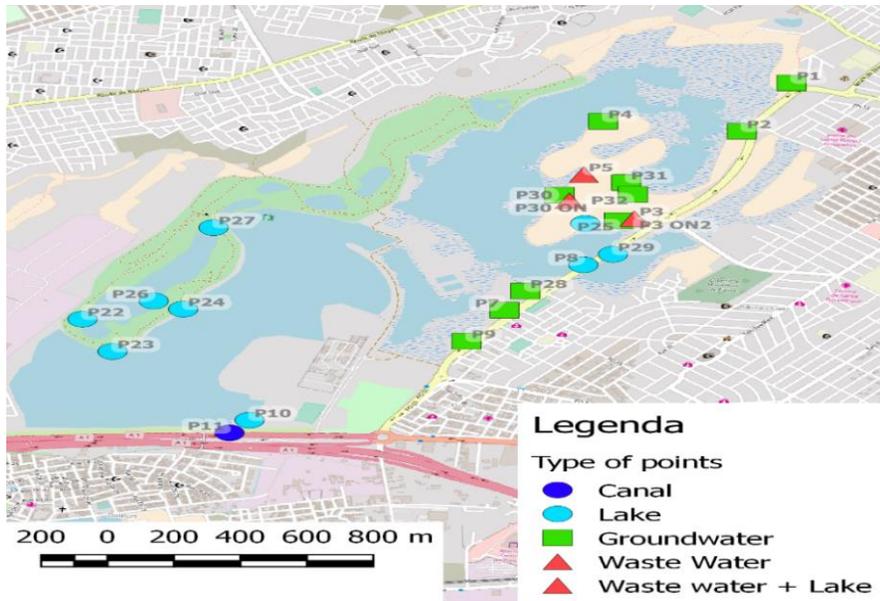


Figure 4 : Type et position des points d'échantillonnage dans la zone du Technopole.

RESULTATS

Les résultats des mesures sont obtenus par la moyenne de cinq mesures pour chacun des paramètres correspondants. Les résultats des analyses des paramètres mesurés in situ (conductivité, pH, température, total des solides dissous TDS, oxygène dissous, salinité) sont indiqués dans le Tableau 1 et la Figure 5. Cependant, les valeurs du pH mesurées dans les différentes ressources en eau sont dans l'intervalle édicté par les normes OMS et Sénégalaise (Figure 5 et Tableau 4). La valeur limite de la conductivité est de 3mS/cm selon les normes OMS et FAO (Tableau 4) pour les eaux destinées à l'irrigation, elle est assez basse dans les eaux usées traitées et dans la nappe (Tableau 1 et Figure 5). Le Tableau 1 et la Figure 5 indiquent les résultats de nos mesures de l'oxygène dissous qui respectent les normes dans la majorité des points de la nappe et du lac. Cependant, sa teneur dans les eaux usées est faible.

En outre, l'ensemble des analyses physico-chimiques et microbiologiques dans les différentes ressources en eau sont illustrés dans le Tableau 2 et la Figure 6. Ainsi, la valeur limite des matières en suspensions (MES)

selon la norme sénégalaise de rejet des eaux (NS 05-061 juillet, 2001) est de 50 mg/L et celle de réutilisation en agriculture (OMS/FAO) est de 100 mg/L (Tableau 4) alors que leurs concentrations dans les eaux traitées et dans le lac sont en moyenne 1219,5 mg/L et 85,9 mg/L respectivement (Tableau 2).

Dans les eaux usées traitées, 220 mg/L (P_3) est la concentration minimale de la demande biologique en oxygène (DBO_5) et 375 mg/L ($P_{3\ L+O}$) est sa concentration maximale. Or, la norme sénégalaise le limite à 80 mg/L si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 30 kg/j, 40 mg/L au-delà. Au niveau du lac la DBO_5 se situe entre 8 mg/L (P_{26}) et 95 mg/L (P_6) (Tableau 2 et Tableau 4). Le point P_6 du lac se situe aux environs de la station de traitement des eaux usées qui représente la zone la plus polluée du Technopole.

Dans la norme sénégalaise, la limite de rejet de la demande chimique en oxygène (DCO) est 200 mg/L si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 100 kg/j, et 100 mg/L au-delà. Les eaux rejetées par la station ne respectent pas les normes. La concentration minimale en DCO est de 595 g/L au point P_{30}

et la valeur maximale mesurée de 2951 g/L au point P_{3L+O} (Tableau 2).

Par ailleurs, les concentrations en *E. coli* trouvées dépassent largement les normes de rejet sénégalaises des eaux usées et de réutilisation dans l'agriculture (1000 U/100mL selon l'OMS) avec en moyenne 1 006 650 U/100mL dans les eaux usées traitées, 2 250 U/100mL dans le lac et 6 175 U/100mL dans la nappe phréatique (Tableau 2).

Aussi, dans les normes de rejet sénégalaises des eaux usées et de réutilisation des eaux usées dans l'agriculture, la limite est de 30 mg/L pour l'azote total et 10 mg/L pour le phosphore total. Ainsi, les eaux traitées de la station d'épuration ont une valeur moyenne de pour l'azote total très élevée avec 227,7 mg/L et pour le phosphore total, nous avons 11,68 mg/L (Tableau 3).

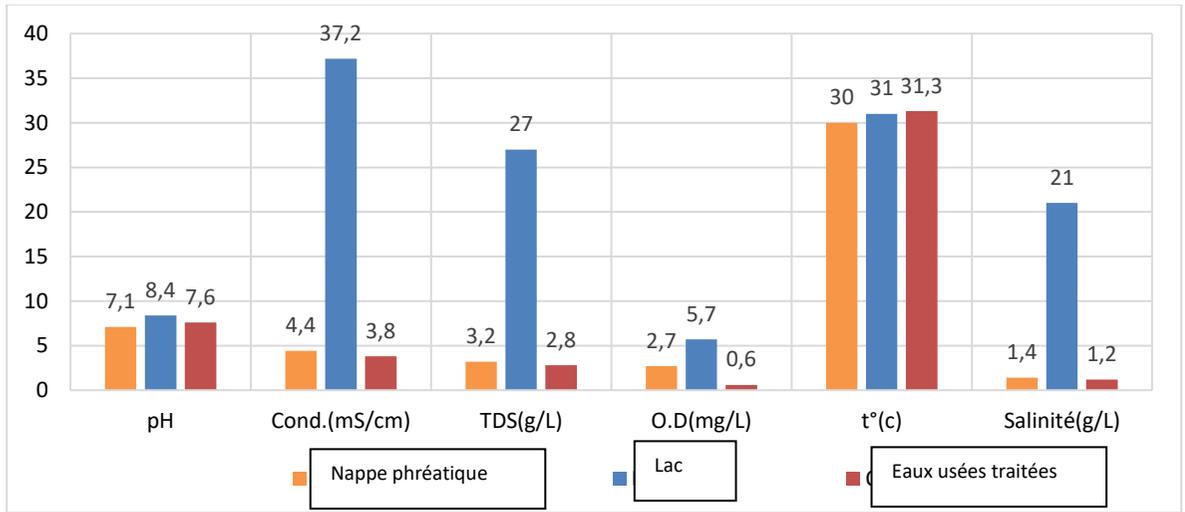


Figure 5 : Histogramme des valeurs moyennes des paramètres mesurés in situ dans les ressources en eau.

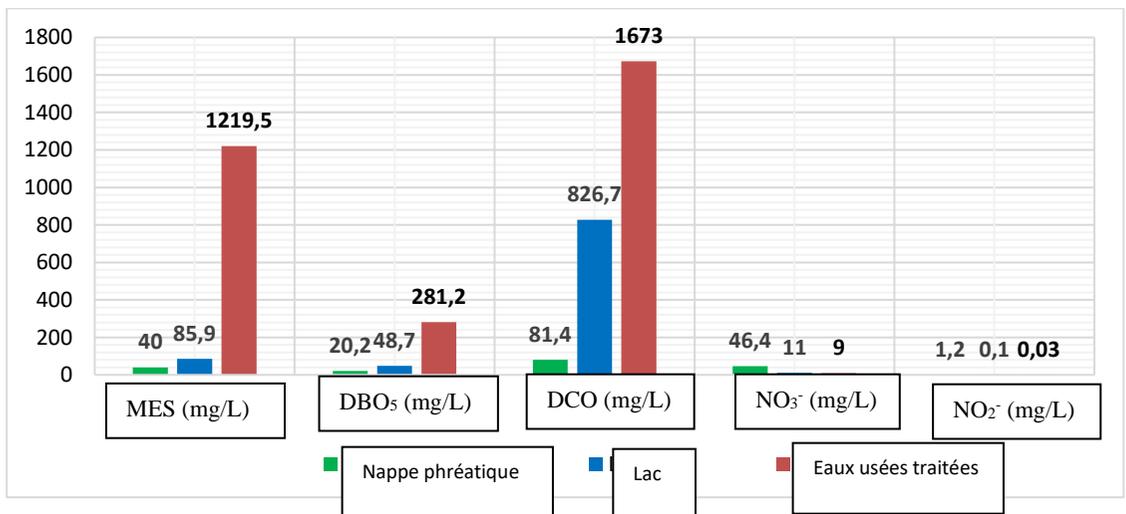


Figure 6 : Histogramme des valeurs moyennes des paramètres mesurés au laboratoire dans les ressources en eau.



Figure 7 : Prolifération d'algues dans la nappe phréatique (P₉).

Tableau 5: Dangers du SAR (FAO, 1985).

Danger	SAR	Notes
Aucun	< 3,0	Aucune restriction sur l'utilisation d'eau recyclée
Légère à modérée	3,0-9,0	<ul style="list-style-type: none">• De 3 à 6 il faut faire attention avec les cultures sensibles.• De 6 à 9 le gypse devrait être utilisé. Cultures non sensibles. Les sols doivent être échantillonnés et testés tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau provoque une augmentation de la teneur en sodium.
Acute	> 9,0	Graves dégâts. Inapproprié

DISCUSSION

Le pH

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9 (Said, 2012).

Conductivité, solide total dissous TDS, salinité

Dans les cours d'eau et les lacs, la conductivité est affectée par divers facteurs tels que le type de sol, la roche mère et la présence de solides inorganiques dissous. La conductivité est sensible aux variations des solides dissous principalement des sels minéraux.

Lac : La valeur mesurée de la conductivité est très élevée au niveau du lac avec une moyenne de 37,3mS/cm (Tableau 1). La salinité du lac est aussi élevée avec une concentration moyenne de 21g/L. En effet, le canal raccordé au lac pour combattre les inondations des quartiers voisins et collecté les eaux grises, contribue plus à augmenter la salinité du lac. La salinité dans les eaux grises (eaux usées domestiques, sans la partie provenant des toilettes) est généralement un problème lorsque cette eau est réutilisée dans l'agriculture. Elle nuit à la productivité du sol de différentes manières, y compris en modifiant l'osmose des racines des plantes et en interférant avec l'absorption des principaux nutriments tels que le potassium et les nitrates

(OMS, 2006). Ainsi, le sel freine la croissance de leurs plantes en attaquant le collet. Le collet est la zone de transition entre le système racinaire et la tige. En outre, la salinité perturberait l'écosystème et provoquerait la mort d'une grande variété des espèces aquatiques animale et végétale. Cependant, les eaux fortement salines altèrent les cycles géochimiques avec d'autres éléments majeurs tels que le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre, la silice et le fer (Herbert et al., 2015), avec une incidence globale sur les écosystèmes. La salinisation peut affecter le biote d'eau douce à trois niveaux : (1) des changements au sein des espèces ; (2) des changements dans la composition de la communauté, et (3) éventuellement la perte de la biodiversité et la migration. En général, lorsque les concentrations de salinité augmentent, on observe un recul de la biodiversité (y compris des microorganismes, des algues, des plantes et des animaux) (Lorenz, 2014).

Oxygène dissous

L'oxygène est essentiel à toutes les formes de vie aquatique, y compris les organismes responsables des processus d'autoépuration dans les eaux naturelles. La teneur en oxygène des eaux naturelles varie avec la température, la salinité, la turbulence, l'activité photosynthétique des algues et des plantes, et la pression atmosphérique (Chapman, 1996). Par conséquent, dans certains points de la nappe, la végétation est très développée avec la prolifération des algues (eutrophisation) et les plantes aquatiques telles que le Typha, le roseau (Figure 7). Cependant, les impacts négatifs du Typha sur l'agriculture, la pêche, l'élevage, la santé des populations et sur la biodiversité sont néfastes.

Eaux usées traitées: Sur les six points de prélèvement, les trois ne contiennent absolument pas d'oxygène 0mg/L (P_{3L+O} , P_3 , P_5). Il faut aussi noter que pour ces trois points, les eaux ont été traitées puis stockées dans des cavités en contact directe avec le sol avant d'être réutilisées par les agriculteurs. Ceci est probablement dû au fait que, le sol contient de la boue utilisée comme engrais, elle

contamine d'avantage les eaux dans cette zone et diminue ainsi le taux d'oxygène dissous. Le point P_{3L+O} est un point situé sur le lac mais représente aussi le mélange de l'eau traitée avec l'eau du lac. D'une part, parce que l'eau du lac dans cette zone est salée et ne peut pas être utilisée seule, et d'autre part parce que l'eau traitée par la station est chaude, contient de la boue et forme une patte sur la partie superficielle du sol. La patte formée par la boue empêche l'eau de s'infiltrer et atteindre les racines des plantes. Par conséquent, les agriculteurs font le mélange pour diminuer les dégâts que peuvent causer l'une ou l'autre des deux types d'eau. Ainsi, le point P_{3L+O} est l'un des points les plus pollués dans la zone environnante de la station d'épuration. Cela explique pourquoi dans cette partie du lac, il n'existe pas de poissons à pêcher ni d'autres animaux aquatiques. Le point P_{30} a une valeur de 2,2 mg/L, c'est le point qui contient plus d'oxygène dissous. En effet, pour ce point, l'eau traitée vient directement de la station à travers des tuyaux et n'est pas en contact avec le sol. La concentration moyenne en oxygène dissous est de 0,6mg/L dans les eaux traitées par la station d'épuration. Ceci prouve que le traitement ne s'effectue pas dans les conditions optimales.

Par ailleurs, le lac, dans ses points ($P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{26}$) est très salé mais contient de l'oxygène dissous en quantité suffisante, c'est la partie la plus proliférique en poissons (P_{22} et P_{26}). L'oxygène dissous est au-dessus de la limite souhaitable qui est de 3mg/L, ce qui signifie qu'il n'y a pas de risque pour de nombreuses formes de vie. Cependant dans la zone (P_{23}, P_{24}), la présence excessive d'algues peut justifier la concentration élevée en oxygène par le phénomène de la photosynthèse, mais cette partie ne contient pas de poissons.

Les matières en suspension MES

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution (Said, 2012). Ce sont des particules de matière organique ou minérale, non décantées et qui restent donc en suspension dans l'effluent.

L'eau après traitement contenait toujours de la boue donc de la matière organique et les MES dans le lac était plus minérale. D'une part, ces teneurs très élevées peuvent empêcher la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique ; l'asphyxie des poissons, par colmatage des branchies. D'autre part, la formation de patte par cette boue empêche l'eau de s'infiltrer et atteindre les racines des plantes diminuant la qualité et la quantité des produits agricoles.

Demande biochimique en oxygène (DBO₅ et DCO)

La plupart des substances organiques présentes dans les eaux usées domestiques et dans les effluents de nombreuses industries (en particulier celles qui traitent des matières premières d'origine animale ou végétale) sont biodégradables. Ceci indique qu'ils peuvent être utilisés par des populations bactériennes (habituellement présentes dans les mêmes eaux usées) comme source de nourriture pour la production de nouvelles cellules et d'énergie nécessaires à la synthèse, la mobilité, etc....

La demande biologique en oxygène DBO₅ est la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières organiques biodégradable (en générale inférieur à la valeur de la DCO). C'est une mesure de la pollution organique de l'eau qui peut être dégradée biologiquement (Nagel et al., 1992). Dans un milieu nettement pollué, de faibles valeurs de DBO₅ peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs.

La demande chimique en oxygène (DCO) est une mesure de l'équivalent en oxygène de la matière organique dans un échantillon d'eau susceptible d'être oxydé par un oxydant chimique puissant, tels que le dichromate de potassium [K₂Cr₂O₇] ou le permanganate de potassium [KMnO₄] (Li et al., 2018). La faible valeur de l'oxygène dissous dans l'eau traitée peut aussi justifier les valeurs trop élevées de la DCO, car il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour oxyder les matières organiques présentes dans les eaux usées (eaux usées provenant des fosses septiques). Par conséquent, les eaux usées ont

des concentrations moyennes en DBO₅ et en DCO de 281,2 mg/L et 1673 mg/L respectivement dépassant largement leurs valeurs limites de rejet selon les normes sénégalaises.

En effet, la présence d'un excès de matière organique rend l'eau anaérobie. C'est le cas des régions urbaines et agricoles irriguées par des cours d'eau, ou encore des zones côtières. Le rejet de déchets et autres produits constitue une source ponctuelle de pollution. Ces ajouts engendrent des modifications des communautés microbiennes et une diminution de l'oxygène dissous, qui font apparaître des fleurs d'eau dans les écosystèmes aquatiques eutrophisés (Mardigan et Martinko, 2007).

Les résultats concernant la nappe phréatique ne révèlent pas une pollution critique (Figure 6). La période d'après hivernage (Octobre, novembre) qu'on a effectué nos mesures peut justifier cela. En effet, la pluie dilue l'eau de la nappe et donc diminue les concentrations des paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

Paramètres microbiologiques

Les bactéries indicatrices fécales (FIB) telles qu'*Escherichia coli* (*E. coli*) (Brendel et al., 2017) sont l'un des paramètres de pollution affectant plus la qualité de l'eau traitée par la station. La présence d'*E. coli* dans de l'eau indique une contamination récente par des matières fécales, et peut indiquer la présence possible de pathogènes responsables de maladies comme des bactéries, des virus et des parasites.

Nappe phréatique : P₁ et P₂ présentent respectivement 10 000 U/100ml et 9 000 U/100mL. P₂₅ point situé près de la station de traitement est contaminé avec une valeur de 11 000 U/100mL en *E. coli*. Le point P₉ avec 13 000 U/100mL représente le point de la nappe phréatique avec une plus grande quantité de *Escherichia coli*. En effet, les concentrations d'*E. coli* dans les cours d'eau sont influencées de façon significative par les zones recevant du fumier, des terres humides, des terres drainées et des terres cultivées (Pandey et al., 2012).

Lac : La concentration d'*E. coli* la plus élevée dans le lac est trouvée au point P₆ (13 000 unités) situé dans la zone environnante de la station, de même que P₂₉ (5 000 unités). Le fumier d'animaux utilisé, l'épandage de la boue de vidange, le mélange d'eau du lac avec l'eau traitée contenant plusieurs quantités de paramètres microbiologiques, les ruissèlements des eaux de pluie pendant l'hivernage font que le lac aux environs de la station reste très pollué (P₆ et P₃). C'est uniquement dans ces deux points situés au niveau du lac qu'on a trouvé des contaminations par les *E. coli*, pour le reste du lac les *Escherichia coli* sont absents. Le lac dans sa partie sud qui n'est pas en contact avec les eaux usées de la station de traitement et dont le maraichage est moins dense n'est pas contaminé par les *E. coli*. Cependant, la charge microbienne représente un risque de contamination pour les agriculteurs, les pêcheurs et les consommateurs.

Eaux usées traitées : Les quantités d'*E. coli* dans les eaux usées traitées sont considérables avec plus de 1 000 000 U/100mL. Les points où l'eau traitée est stockée dans les cavités en contact avec le sol sont les points les plus contaminés (P₅ et P_{3 L+O}). La contamination est moins importante dans l'eau traitée pour les points P₃ et P₃₀ où l'eau est directement utilisée par les maraichers après traitement.

Cependant, de nombreux agents pathogènes sont capables de survivre (et parfois de se multiplier) dans l'environnement (dans l'eau, les sédiments ou les plantes, par exemple) sur des durées suffisamment longues pour permettre leur transmission aux êtres humains. Plusieurs facteurs influent cependant sur leur dépérissement, dont la température, le degré d'humidité, l'exposition au rayonnement ultraviolet, la présence ou l'absence d'hôtes intermédiaires appropriés, le temps écoulé, le type de végétaux, etc.

Comme l'utilisation d'eaux usées, d'excréta et d'eaux ménagères en agriculture et en aquaculture peut aider les collectivités à obtenir davantage de récoltes pour l'alimentation et à tirer parti de ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette

utilisation doit cependant s'effectuer dans des conditions sûres pour que ses bénéfices pour la santé publique et l'environnement soient maximums (OMS, 2012).

Azote total Kjeldahl et phosphore total

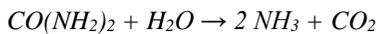
Le principe de la méthode de Kjeldahl est de convertir l'azote organique en azote ammoniacal et le phosphore organique en orthophosphates, par digestion à l'acide sulfurique auquel on ajoute du sulfate de potassium pour élever le point d'ébullition à 345-370 °C. Après digestion et dilution, la solution est neutralisée à l'aide de soude. Cette méthode consiste à déterminer la teneur en composés non oxydés de l'azote (principalement azote organique et azote ammoniacal) d'un échantillon, déterminée dans les conditions définies par la méthode Kjeldahl.

Nappe phréatique : La contamination de la nappe par l'azote en certains endroits (P₁, P₇ et P₉) s'explique par l'apport massif d'engrais chimique et organique. Par ailleurs, la nappe de Pikine a été classée dans la zone à nappe phréatique très vulnérable avec des quantités de nitrate de 100 à 550 mg/L (Faye et al., 2004). En effet, plusieurs études ont montré que le véritable problème lié à l'agriculture est la contamination de la nappe par les composés azotés provenant soit des eaux usées et/ou des engrais, surtout en période pluvieuse (Majdoub et al., 2003).

Lac : La présence de quantité importante d'azote dans le lac et le canal se justifie par la décomposition de la matière organique. La surexploitation de la zone par les agriculteurs, des déchets d'animaux organiques comme source de nutriments pour les cultures peuvent contaminer le sol, les eaux de surface et même souterraines (Couto al., 2017). Concernant le phosphore, ce sont surtout les apports ponctuels d'eaux usées urbaines qui sont responsables de la plus grande partie des apports de phosphore aux eaux de surface. Ils résultent de l'accroissement de la collecte centralisée des eaux usées et de leur rejet, sans traitement suffisant, dans le milieu naturel (Jerbi, 2015).

Eaux traitées par la station d'épuration :

La concentration très élevée d'azote dans les eaux traitées de la station d'épuration du Technopole de Pikine s'explique par : (1) le traitement non complet des eaux usées par la station d'épuration (Bop et Gueye, 2020) ; (2) les eaux usées venant des fosses septiques sont traitées en deça de 70% ce qui ne permet pas la dénitrification complète des eaux traitées (Gueye et al., 2022c) ; (3) la présence d'urine dans les eaux usées. En fait, l'urine contient les principaux nutriments nécessaires au développement des plantes ; l'urée est une substance organique de formule $H_2N-CO-NH_2$ présent dans l'urine. Étant donné que 90% de l'azote dans les eaux usées domestiques provient de l'urine (Ameaglio, 2011), cela explique les concentrations élevées d'azote dans les eaux usées traitées. Sa plus grande utilisation se fait sous la forme d'engrais azoté. Elle est hydrolysée en ammoniac et en oxyde de carbone dans le sol selon la réaction:



Dans le sol, les engrais azotés inorganiques et les déchets contenant de l'azote organique sont d'abord décomposés en ammoniac, qui est ensuite oxydé en nitrite et en nitrates. Les nitrates sont absorbés par les plantes lors de leur croissance et utilisés dans la synthèse de composés azotés organiques. Les nitrates en excès sont rapidement entraînés par les eaux souterraines (Van et Matthijsen, 1989). En conditions aérobies, des quantités considérables percolent dans l'aquifère car ils sont très peu dégradés et dénitrifiés. En conditions anaérobies, les nitrates peuvent être presque complètement dénitrifiés ou dégradés en azote. Le niveau plus ou moins élevé de la nappe phréatique, la pluviométrie, la présence d'autres substances organiques et d'autres facteurs physico-chimiques influent aussi beaucoup sur le destin de nitrates dans le sol (Van et Loch, 1983). Les eaux de surface peuvent aussi être le siège d'une nitrification ou d'une dénitrification, selon la température et le pH. Toutefois, la réduction de la teneur en nitrates dans les eaux de surface est due principalement à leur absorption par les

plantes. Cependant, les nitrates sont utilisés comme indicateur de pollution. Ils jouent le rôle de fertilisant pour les plantes qui assimilent l'azote sous la forme NO_3^- . Ces avantages substantiels pour les agriculteurs sont compensés en partie par des risques environnementaux qui comprennent le risque de lixiviation des nitrates. D'autres risques agro-biologiques sont liés au fait que l'azote peut, dans les phases ultérieures de la croissance, avoir des effets négatifs sur la croissance des plantes. L'azote, cependant, stimule la croissance indésirable d'algues sur les sols cultivés. Associés aux phosphates, les nitrates favorisent la croissance parfois exagérée de la flore aquatique, pouvant ainsi entraîner une eutrophisation des fleuves et des lacs. Nitrates, nitrites et phosphates sont les éléments nourriciers des algues perturbant indirectement la présence d'oxygène qui est consommée par ces derniers. Les nitrites par leur forme réduite sont plus dangereux que les nitrates. Une eau trop riche en nitrates favorisera la prolifération de grandes algues vertes (ulves) qui échouent sur les plages et y pourrissent (marées vertes). Ceci engendre en général une modification du rapport N/P dans les eaux, qui contrôle la succession des espèces et donc la diversité en favorisant ou limitant la croissance de tel ou tel groupe d'organismes (Nuccio et al., 2003). Ceci peut, par ailleurs, nuire les produits agricoles car la biodiversité représente un atout pour l'agriculture.

Rapport d'Adsorption du Sodium RAS ou SAR Sodium Adsorption Ratio (anglais).

Le SAR est un paramètre de la qualité de l'eau utilisé dans la gestion des sols affectés par le sodium. En effet, le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile

et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

Le SAR exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}}$$

SAR (eaux usées traitées) = 6,31; légèrement supérieure à 6, il existe donc des restrictions modérées concernant la réutilisation des eaux usées dans l'irrigation (Tableau 6).

Conclusion

Au terme de ce travail, une évaluation de la qualité des ressources en eau dans la zone du Technopole a été réalisée afin d'étudier ses impacts sur la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac et sur les produits agricoles. Les résultats de cette étude ont montré que ces eaux (nappe phréatique, lac, eaux usées traitées) en certains points, ne satisfont pas aux normes sénégalaises pour une utilisation en agriculture et/ou pour la pêche. Ainsi, à l'exception de la conductivité (en moyenne 4,4 mS/cm > 3 mS/cm qui est la valeur guide de l'OMS), tous les autres paramètres étudiés des eaux de la nappe phréatique respectent les valeurs limites de l'OMS pour l'irrigation. Cependant, au niveau du lac, la salinité est très élevée avec une valeur moyenne de 21g/L, ce qui perturberait l'écosystème et provoquerait la mort d'une grande variété des espèces aquatiques, animales et végétales. En plus, sa faible concentration de l'oxygène dissous a provoqué l'absence de poissons et d'autres animaux aquatiques dans les zones du lac proche de la STEP. En effet, les concentrations élevées des matières en suspension (85,9 mg/L), la demande chimique en oxygène (1789 mg/L) et l'azote total (67,6 mg/L) contribuent à diminuer l'oxygène dissous et donc dégrader

la biodiversité de l'écosystème aquatique. En outre, les eaux usées traitées par la STEP et utilisées pour l'irrigation ont révélé des concentrations de ses paramètres physico-chimiques et microbiologiques qui dépassent largement leurs normes de réutilisation en agriculture. Ainsi, la teneur en MES dans les eaux traitées est en moyenne 25 fois plus grande que la valeur limite tandis que celle en DCO et DBO₅ sont environ 8 et 4 fois plus élevées par rapport aux normes de réutilisation respectivement. De même, la valeur moyenne de l'azote total est très élevée, soit 9 fois la valeur limite sans compter la charge microbienne excessive (1 006 650 mg/L). En plus, la valeur de la SAR est légèrement supérieure à 6, il existe donc des restrictions modérées concernant la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation. Par conséquent, une baisse quantitative et qualitative des produits agricoles a été constatée traduisant une dégradation de la biodiversité. Par conséquent, la phytoépuration pourrait être explorée pour améliorer la qualité des ressources en eau pour la sauvegarde de la biodiversité dans cette zone du Technopole.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

OG et SS ont conçu l'étude. MTG, DB et AN ont fait les mesures. MTG et DB ont collecté les données et analysé les résultats. MTG a rédigé l'article et OG et DB ont corrigé.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement pour le soutien du laboratoire de recherche sur les technologies appropriées pour la gestion de l'environnement dans les pays à revenu faible et intermédiaire CeTAMB de l'université de Brescia, l'Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) et le laboratoire de l'Institut Fondamental d'Afrique

Noire (IFAN) avec la collaboration de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

REFERENCES

- Ameglio E. 2011. Trattamento delle acque grigie mediante impianto pilota di fitodepurazione per applicazione in Ciudad de Guyana, Barrio Moscu', Venezuela (Traitement des eaux grises à l'aide d'une installation pilote de phytodépuration pour application à Ciudad de Guyana, Barrio Moscu, Venezuela). Tesi di Laurea Specialistica, Università Degli Studi di Pavia, Italie.
- Badiane SD, Diouf E, M'baye E. 2017. Le Technopôle de Dakar, une zone humide dans l'agglomération dakaroise. Perception et perspectives de valorisation. Département de géographie, UCAD- Dakar, Section de géographie, UGB-Saint-Louis.
- Bop D, Gueye MT. 2020. Gestion des eaux usées et des boues de vidange à Dakar particulièrement dans la zone humide du Technopole. *JUNCO – Journal of UNiversities and international development COoperation* n. 2/2020. <http://www.ojs.unito.it/index.php/junco/issue>
- Brendel C, Soupier ML. 2017. Relating Watershed Characteristics to Elevated Stream *Escherichia coli* Levels in Agriculturally Dominated Landscapes: An Iowa Case Study. *Water*, **9**: 154. DOI: 10.3390/w9030154.
- Bop Dame. 2020. Gestion, traitement et réutilisation des eaux usées à Dakar particulièrement dans la zone humide du Technopole dans la grande Niaye de Pikine. Thèse de Doctorat Unique, Università degli studi di Brescia.
- Chapelle A, Lazure P, Souchu P. 2001. Modélisation numérique des crises anoxiques (malaïques) dans la lagune de Thau (France). *Oceanologica Acta*, **24**: 87-97. DOI:10.1016/S0399-1784(00)01109-9
- Chapman D. 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Couto RdaR, Ferreira PAA, Ceretta CA, Lourenzi CR, Facco DB, Tassinari A, Piccin R, De Conti L, Gatiboni LC, Schapanski D, Brunetto G. 2017. Phosphorus fractions in soil with a long history of organic waste and mineral fertilizer addition. *Bragantia*, **76**(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.006>
- Diop A, Diop YM, Thiaréd DD, Cazierec F, Sarr S, Kasprowiak A, Landy D, Delattre F. 2016. Monitoring survey of the use pattern sand pesticide residues on vegetables in the Niayes zone, Senegal. *Elsevier, Chemosphere*, **144**: 1715–1721.
- Diop A, Ndiaye ML, Sambou H, Dacosta H, Sambou B. 2017. Evaluation approach for Mapping Flood Vulnerability of Buildings in the Grande Niaye Watershed of Dakar. Integrated a GIS and Multicriteria.
- Faye SC, Faye S, Wohnlich S, Gaye CB. 2004. An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). *Environmental Geology*, **45**: 312-322.
- Gueye MT, Bop D, Ndoeye A, Sorlini S. 2022a. Impacts de la pollution du lac dans la zone du Technopole de Pikine sur le risque de disparition des espèces aquatiques. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, **33**(2): 260-271. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/download/4455/2760>
- Gueye MT, Bop D, Ndoeye A, Sorlini S. 2022b. Utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation dans la zone humide du Technopole de Dakar: un risque d'insécurité alimentaire des cultures maraichères. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. **33**(1): 645-655. DOI:

- <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/download/4428/2719>
- Gueye MT, Bop D, Ndoye A, Sorlini S. 2022c. Amélioration de la qualité des eaux (eaux usées, nappe phréatique et lac) par phytoépuration dans la zone du Technopole de Dakar (Sénégal). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, **34**(1): 416-429. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/download/4522/2812>
- Hamsatou MMD. 2005. Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries : Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Thèse de doctorat de l'université de Bamako, Mali.
- Herbert ER, Paul B, Amy JB, Scott CN, Rima BF, Marcelo A, Kristine NH, Leon PML, Peter G. 2015. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, **6**(10): 1-43. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES14-00534.1>.
- Hobbie JE, Copeland BJ, Harrison WG. 1972. Nutrients in the Pamlico River estuary, N.C., 1969-1971. Report no. 76. North Carolina Water Resources Research Institute, Raleigh. 242 p
- Jerbi NAG. 2015. Eutrophisation et dynamique du phosphore et de l'azote en Seine : un nouveau contexte suite à l'amélioration du traitement des eaux usées. Biochimie, Biologie Moléculaire. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2015. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01241278>
- Lorenz F. 2014. A new species of *Morum* from the Western Indian Ocean (Gastropoda: arpidae). *Conchylia*, **44**(3-4): 2-5.
- Majdoub R, Côté C, Labidi M, Guay K, Génereux M. 2003. Impact de l'utilisation des engrais de ferme sur la qualité microbiologique de l'eau souterraine. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, pp. 136.
- Miller JM. 1985. Effects of freshwater discharges into primary nursery areas for juvenile fish and shellfish: criteria for their protection. In: W. Gilliam, J. Miller, L. Pietrafesa, and W. Skaggs, Water Management and Estuarine Nurseries. *UNC Sea Grant Publication* no. UNC-SG-WP-85-2. pp. 62-84.
- Nagel B, Dellweg H, Gierasch LM, 1992. Glossary for chemists of terms used in biotechnology (IUPAC recommendations). *Pure Appl. Chem.*, **64**(1): 143-168.
- Nuccio C, Melillo C, Massi L. 2003. Innamorati M. Abondance de structure des communautés et diversité dans la lagune eutrophisée d'Orbetello (Toscane) de 1995 à 2001. *Oceanologica Acta*, **26**(1) : 15-25.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). 1985. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Examen de la situation alimentaire et agricole en milieu de décennie. Rome.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 1994. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. *Collection FAO: Agriculture*, n° 27. Rome.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2 : Wastewater Use in Agriculture, Genève, Organisation mondiale de la santé.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2012. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Volume 1 : Considérations d'ordre politique et réglementaire.
- Pagès J, Andrefouet S, Delesalle B. 2001. Prasil V. Hydrology and trophic state in Takapoto Atoll lagoon: comparison with other Tuamotou lagoons. *Aquat. Living Resources*, **14**: 183-193.

- Pandey PK, Soupir ML, Haddad M, Rothwell JJ. 2012. Assessing the impacts of watershed indexes and precipitation on spatial in-stream *E. coli* concentrations. *Ecological Indicator*, **23**: 641–652.
- Pate PP, Jones R. 1982. Effects of upland drainage of estuarine nursery areas of Pamlico Sound, North Carolina. Working paper no. 81-10. UNC Sea Grant, Raleigh. 25 p.
- Said MM. 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées, par des procédés mixtes. Cas de la STEPT de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.
- SENEGALAISE NS 05-061. 2001. Eaux usées, eaux de surface, souterraines, marines, pollution des eaux, charge polluante, épandage, valeurs limites des paramètres, milieux récepteurs, caractéristiques générales, effluents, voies d'évacuation, station d'épuration, Juillet 2001. EAUX USEES : NORMES DE REJET.
- Soto-Jiménez MF, Páez-Osuna F. 2001. Distribution and normalization of Heavy metal Sotoconcentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **53**(3): 259-274.
- Van Duijvenbooden W, Matthijsen AJCM. 1989. Integrated criteria document nitrate. Bilthoven, Pays-Bas, Institut national de santé publique et de protection de l'environnement (Rapport N° 758473012).
- Van Duijvenbooden W, Loch JPG. 1983. Nitrate in the Netherlands: a serious threat to groundwater. *Aqua*, **2**: 59-60.