

Variabilité saisonnière de la qualité des eaux du bassin versant de Nzeng-Ayong dans le sixième arrondissement de la commune de Libreville (Gabon)

Yvon-Bert PAMBOU¹, Emelie Arlette APINDA LEGNOUO¹, Alice ALANKILA OTÉLÉ¹, Annie Marcelle MASSOLOU¹, Nadine NGAYILA¹, Guy Merlo MADOUNGOU NDJEUNDA², Christophe Roland ZINGA¹, and Jacques François MAVOUNGOU¹.

¹Institut de Recherche en Écologie Tropicale, Département des Écosystèmes Aquatiques, Unité de Recherche en Eau et Environnement, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (IRET/DÉA/CENAREST), BP 13345 Quartier Gros-bouquet, Libreville Gabon.

²Institut de Recherche en Sciences Humaines, Centre National des Données et de l'Information Océanique, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (IRSH/CNDIO/CENAREST), Campus de l'Université Omar BONGO, Libreville Gabon.

Corresponding Author: Yvon-Bert PAMBOU; yvonbertpambou@gmail.com; Tél: 00241 66 86 25 23.

Submitted on 21st October 2021. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st January 2022
<https://doi.org/10.35759/JABs.169.3>

RÉSUMÉ

Objectif : Évaluer la qualité physico-chimiques de l'eau du canal de drainage, dans le bassin versant de Nzeng-Ayong (Libreville, au Gabon), en lien avec les variations saisonnières.

Méthodologie et résultats : Réalisée durant les saisons humide et sèche de l'année 2021, l'étude a permis de déterminer les paramètres physico-chimiques que sont le pH, la salinité et les principaux polluants minéraux (K^+ , Na^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Fe^{2+}/Fe^{3+}). Les résultats montrent que le pH de l'eau est neutre en saison humide ($7,4 \pm 0,27$) et acide en saison sèche ($6,5 \pm 0,24$), avec une salinité acceptable. L'analyse des ions révèle que le canal n'est pas souillé par les polluants chimiques que sont : Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , mais plutôt par le trio (Ba^{2+} , K^+ et Fe^{2+}/Fe^{3+}).

Conclusions et applications des résultats : Le canal drainant les eaux du bassin versant de Nzeng-Ayong est pollué par les espèces dissoutes que sont le baryum, le potassium et le fer, avec des degrés de toxicité dépassant largement les niveaux admissibles. Cette pollution par les ions précités, est d'autant plus inquiétante en saison humide qu'en saison sèche : les rejets d'origine anthropiques expliqueraient cette altération. L'approche développée dans cette étude permet de mieux cerner les risques de pollution des ressources en eau, en particulier dans les villes caractérisées par une absence de systèmes de traitement des eaux usées. De plus, la proximité des ménages et autres activités commerciales le long du canal, contribuent fortement à cette pollution. Les résultats issus de cette étude permettraient de tirer la sonnette d'alarme quant' à la mise en place d'une surveillance accrue des canaux de drainages et autres retenues d'eau parcourant les différents bassins versants de la capitale gabonaise.

Mots clés : Qualité des eaux, Bassin versant de Nzeng-Ayong, Variation saisonnière, risque de pollution environnementale, Libreville-Gabon.

Seasonal variability in water quality of the Nzeng-Ayong watershed in the sixth district of Libreville, Gabon.

ABSTRACT

Objective: This study is aimed at assessing the physico-chemical quality of water from the drainage channel around the Nzeng-Ayong watershed (Libreville, Gabon), concerning the seasonal variations.

Methodology and results: Carried out during the wet and dry seasons of 2021, the study has revealed the physico-chemical parameters of the water in the drainage channel of the Nzeng-Ayong watershed which are: pH, salinity and mineral pollutants (K^+ , Na^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Fe^{2+}/Fe^{3+}). Results show that the pH of water is neutral in the wet season (7.4 ± 0.27) and acidic in the dry season (6.5 ± 0.24), with acceptable salinity value. Ions analysis suggests that the channel is not soiled by the chemical pollutants such as: Ca^{2+} , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} and PO_4^{3-} , but rather by three ions which include Ba^{2+} , K^+ and Fe^{2+}/Fe^{3+} .

Conclusions and application of results: The channel draining the waters of the Nzeng-Ayong watershed is polluted by the dissolved species of barium, potassium and iron, with toxicity levels well above the permissible thresholds. This pollution by the above-mentioned ions is more concerning in the wet season than in the dry season: the anthropogenic discharges would explain this alteration. The approach developed in this study makes it possible identify the risks of pollution of water resources, especially in cities where there are no wastewater treatment systems. Moreover, the proximity of households and other commercial activities along the canal is believed to strongly contribute to this pollution. Finally, political decision-makers should fully implement the existing regulations about this issue, in addition to intensifying awareness-raising campaigns and monitoring of drainage channels and other water reservoirs running through the various watersheds of the gabonese capital.

Keywords: Water quality, Nzeng-Ayong Watershed, Seasonal variation, Environmental pollution risk, Libreville-Gabon.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'amélioration des conditions de vie des populations et pour prévenir les risques liés aux inondations, des réseaux de collecte drainant les eaux de pluie et les eaux usées domestiques, sont érigés à travers les bassins versants communaux. Cependant, dans la majorité des pays d'Afrique subsaharienne, les eaux provenant de ces systèmes de collecte ne sont généralement pas traitées, avant leur rejet dans le milieu récepteur. Or, une maîtrise de la bonne qualité des eaux avant rejet permet de maintenir un environnement peu pollué, tout en garantissant la santé des populations (Mbaka, *et al.*, 2017). Pourtant, ces eaux peuvent contenir des micropolluants et d'autres organismes pathogènes, dissous dans l'eau et très souvent responsables des maladies

hydriques et de la pollution des écosystèmes aquatiques (Pritchard, *et al.*, 2009; WHO, 2011). Le rejet d'eaux usées industrielles et urbaines non traitées, la présence de sites d'enfouissement informels et les activités anthropiques, sont les principales sources de détérioration de la qualité de l'eau (Laffite, *et al.*, 2016; Poté, *et al.*, 2008; Mubedi J., *et al.*, 2013). Libreville, l'une des métropoles gabonaises, avec plus de 600 000 habitants, concentre près de la moitié de la population du pays (AFD, 2013), n'est pas en reste des problèmes liées à la pollution des écosystèmes aquatiques de ses bassins versants (21 au total). En l'occurrence dans le quartier de Nzeng-Ayong (Est de Libreville), où le réseau de drainage des eaux se retrouve souvent obstrué

par des déchets en tout genre. Plusieurs auteurs se sont penchés sur l'étude de la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines dans beaucoup de pays de la sous-région ; notamment au Cameroun, au Congo, au Bénin, etc. (Djuikom, *et al.*, 2009; Mehounou, *et al.*, 2016; Konan Kouakou, *et al.*, 2018). Cependant à notre connaissance, très peu de travaux semblent être notés sur la qualité des eaux des bassins versants en République gabonaise, et en lien avec la variabilité saisonnière. En particulier ceux de la capitale,

où la démographie est de jour en jour plus grandissante. Partant de cet état de fait, le but visé par la présente étude est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux du canal drainant les eaux du bassin versant de Nzeng-Ayong. L'évaluation de cette qualité est basée sur la comparaison des paramètres physico-chimiques, mesurés en saison humide et en saison sèche, afin de déceler des éventuels changements en fonction de la période saisonnière.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description du site de prélèvement : L'étude est menée sur des échantillons d'eau provenant du canal du bassin versant parcourant le quartier Nzeng-Ayong, dans la commune Est de Libreville. Une métropole pour laquelle, la saison pluvieuse s'étend d'octobre à mi-avril, tandis que la saison sèche correspond à la période d'avril à septembre. Le choix de ce site pour l'étude réalisée, repose sur plusieurs critères, dont les principaux sont : la présence

des lieux d'habitations, des centres commerciaux érigés à quelques encablures du long du canal, qui contribueraient à accentuer la pollution, notamment par la présence de décharges non contrôlées et à ciel ouvert. Une deuxième raison se justifie par les risques d'inondations, souvent rencontrés en période de crue. La Figure 1 présente une image du site de prélèvement.



Figure 1 : Prise de vue du canal constituant le bassin versant de Nzeng-Ayong (Photo prise par E.A. APINDA LEGNOUO en mars 2021, où l'on constate une base vie proche du canal).

Prélèvement : Des échantillons d'eau de onze points (P₁ à P₁₁), choisis de manière à avoir une bonne distribution spatiale des activités anthropiques, ont été collectés pour étudier la variabilité temporelle de la qualité des eaux du

bassin versant. L'échantillonnage est réalisé aussi bien en saison pluvieuse, précisément au mois de mars 2021, où le niveau de précipitation est abondant, mais également en période d'étiage, aussi appelée saison sèche

(août 2021). La prise d'eau est effectuée au moyen des flacons en polyéthylène (V= 500 mL), lestés à une corde et selon une direction opposée au sens de l'écoulement (Hébert & Légaré, 2000). Les récipients servant à la collecte sont tout d'abord lavés au savon de ménage, puis à l'acétone et enfin à l'eau distillée. Chaque flacon est ensuite rincé deux fois avec l'eau à analyser, puis rempli par ce même liquide avant d'être porté à l'abri de la

lumière, dans une glacière, maintenue à une température de 4 °C, durant le transport au laboratoire (AFNOR, 2008; APHA, 2011). Dans le Tableau 1, sont présentées les coordonnées géographiques des différents points, enregistrées au moyen d'un appareil GPS (*Global Positioning System, de type Garmin GPSmap 62*), ainsi que leur altitude par rapport au niveau de la mer.

Tableau 1 : Géolocalisation et altitude (par rapport au niveau de la mer) des différents points d'échantillonnage P_i.

Échantillonnage [-]	Longitude [utm 32N]	Latitude [utm 32N]	Altitude (0=niveau mer) [m]
P ₁	N 00 25 18.2°	E 009 28 01.0°	12
P ₂	N 00 25 18.2°	E 009 28 01.1°	13
P ₃	N 00 25 19.2°	E 009 28 06.5°	14
P ₄	N 00 25 20.4°	E 009 28 11.3°	14
P ₅	N 00 25 21.3°	E 009 28 16.9°	11
P ₆	N 00 25 21.3°	E 009 28 16.9°	12
P ₇	N 00 25 20.7°	E 009 28 20.2°	14
P ₈	N 00 25 20.7°	E 009 28 20.2°	15
P ₉	N 00 25 18. 3°	E 009 28 24.9°	16
P ₁₀	N 00 25 32.9°	E 009 28 33.8°	10
P ₁₁	N 00 25 44.8°	E 009 28 32.2°	6

Dans la Figure 2, sont présentées quelques images, trouvées pertinentes à proximité du site de prélèvement. En (a), la technique de prélèvement adoptée, qui consiste à attacher une corde sur le bec du flacon qui va contenir l'échantillon, il est par la suite plongé (à contre-courant), dans le milieu liquide. En (b) et (c), les différentes activités implantées le long du canal : allant des ateliers de

transformation du bois pour la production des meubles, aux différentes techniques de conservation des produits alimentaires... Enfin en (d), la présence de machines hydrauliques destinées aux travaux d'aménagement et de réhabilitation du canal de drainage des eaux. Toutes ces activités génèrent des sous-produits qui sont très souvent à l'origine d'une pollution de l'écosystème aquatique.



Figure 2 : Image de quelques endroits caractéristiques du canal de Nzeng-Ayong (a) : méthode de prélèvement ; (b) : atelier de fabrication de meubles, à 20 m ; (c) : fumage de produits alimentaires près du canal ; (d) : travaux d'aménagement du canal du bassin versant (Photo prise par E.A. APINDA LEGNOUO en mars 2021, montrant les activités intramuros au canal).

Paramètres physico-chimique : Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : le potentiel d'hydrogène (pH), la salinité (en NaCl), le fer total (Fe) et les espèces ioniques suivantes (Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- et PO_4^{3-}). Ces paramètres sont choisis en raison de leur importance sur l'étude de la qualité des eaux et de l'environnement (Ambica, *et al.*, 2012). Chaque essai est réalisé en double, ce qui permet d'estimer l'erreur relative sur la mesure. Par contre, les paramètres physiques que sont : la conductivité électrique et l'oxygène dissous n'ont pas été estimés, en raison de la défectuosité des sondes de mesures.

Potentiel d'hydrogène, pH [-] : Le pH est mesuré in situ, au moyen d'une sonde multi-paramètre 3420-SET-G muni d'une sonde de pH Sentix. La sonde pH-métrique est étalonné avant la campagne de prélèvement, afin de s'affranchir des erreurs de mesures. Son utilisation consiste à introduire la sonde pH-métrique dans le milieu liquide puis, d'attendre

la stabilisation et l'affichage de la mesure sur le boîtier écran de l'appareil.

Salinité de Morh, NaCl [mg/L] : La salinité donne une idée de la concentration en sels dissous de l'échantillon. Elle est déterminée par titrage de l'ion Chlorure contenu dans l'échantillon d'eau par l'ion Argent contenu initialement dans une solution de nitrate d'argent, ($Ag^+ + NO_3^-$) à $C_1=C_{AgNO_3}= 0,1$ mol/L, en présence de Chromate de potassium ($2K^+ + CrO_4^{2-}$) à 10% (Pambou, *et al.*, 2020).

La teneur en ions métalliques, $X^{n\pm}$ [mg/L] : La teneur en [mg/L] des paramètres chimiques que sont : les ions baryum (Ba^{2+}), les ions calcium (Ca^{2+}), les ions nitrates (NO_3^-), les ions phosphates (PO_4^{3-}), les ions sulfates (SO_4^{2-}) et le fer total (Fe^{2+} , Fe^{3+}), est déterminée par la méthode colorimétrique, à l'aide d'un spectrophotomètre de type Hach DR 3900 et selon la méthode décrite par Mavakala, *et al.* (Mavakala, *et al.*, 2016). Finalement, le dosage de l'échantillon d'eau est réalisé par l'ajout d'un ou des plusieurs

réactifs fournis sous la forme de kits, dans un volume à dissoudre compris entre 10 et 50 mL de solution aqueuse. Le zéro de concentration est effectué avec l'échantillon d'eau à doser,

RÉSULTATS

Les résultats obtenus au cours de l'étude de la qualité des eaux du canal de Nzeng-Ayong, sont présentés sous la forme de figures et des tableaux.

Paramètres physico-chimique: Les paramètres physico-chimiques analysés sont rappelés ainsi que suit : le pH, la salinité, le fer total et les espèces ioniques tels que (K^+ , Na^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- et PO_4^{3-}).

Potentiel d'hydrogène, pH [-]: Le potentiel d'hydrogène mesure la concentration en ion hydronium contenu dans l'eau. Sa valeur traduit le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau, sur une échelle variant entre 0 et 14. Dans les écosystèmes aquatiques, le pH influence la solubilité des métaux qui peuvent

sans ajout de réactif. Pour toutes les analyses effectuées, deux mesures sont réalisées et les résultats moyennés.

avoir un effet négatif sur les organismes aquatiques et la santé humaine. Le pH du canal varie de 7 à 7,9 pendant la saison de pluie (C_1_{mars}) et de 6,2 à 6,7 durant la saison sèche ($C_2_{août}$). La valeur moyenne obtenue en saison pluvieuse est de $7,4 \pm 0,27$, tandis qu'elle est de $6,5 \pm 0,24$ en période d'étiage (Figure 3). Le pH moyen du canal de Nzeng-Ayong est donc plus bas en saison sèche qu'en saison de pluie. Les eaux ont tendance à être plutôt neutres en saison pluvieuse et plutôt acides en saison sèche. Toutefois, les valeurs obtenues sont en-dessous du seuil de recommandation de l'OMS, qui fixe la valeur guide de pH comprise entre 6 et 9.

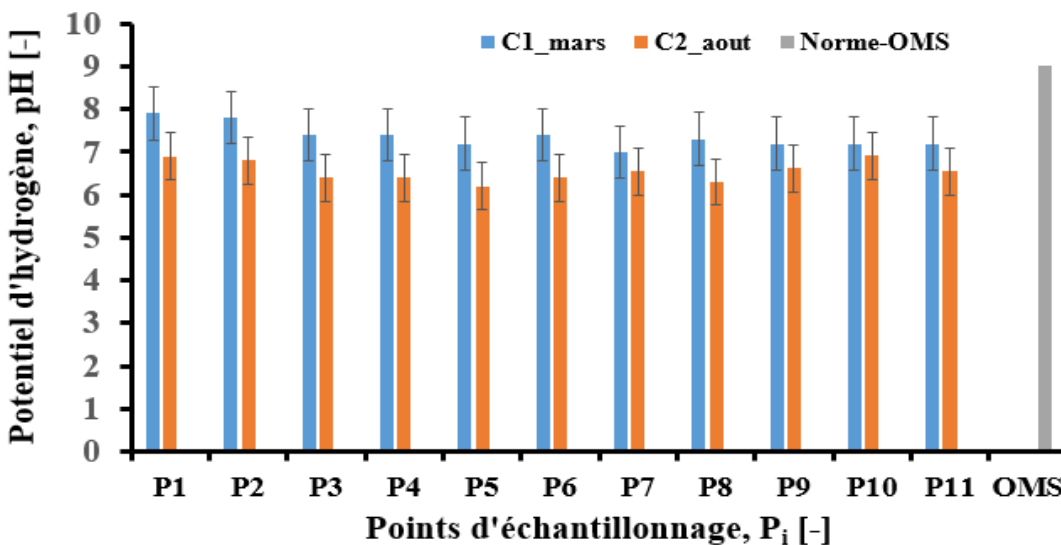


Figure 3 : Variation du potentiel d'hydrogène (pH) en fonction des points de prélèvement (P_i), et durant les saisons humide (C_1_{mars}) et sèche ($C_2_{août}$). Norme-OMS, représente la valeur guide édictée par l'OMS.

Salinité de Morh, NaCl [mg/L] : La Figure 4 montre les variations du taux de salinité en fonction de la période saisonnière. En saison de pluie, la salinité de l'eau atteint les 50 mg/L pour la plupart des points de prélèvement, alors

qu'elle est autour de 30 et 45 mg/L lors de la période de saison non humide. Le calcul des moyennes donne des valeurs respectives de $45,7 \pm 4,92$ et $32,9 \pm 5,71$ mg/L, en saisons humide et sèche. Soit une diminution de

0,28%. La différence n'est donc pas significative entre les deux saisons. Dans tous les cas, on remarque que les valeurs obtenues

pour le paramètre salinité, sont en-dessous de la norme admissible de l'Organisation Mondiale de la Santé (salinité ≤ 300 mg/L).

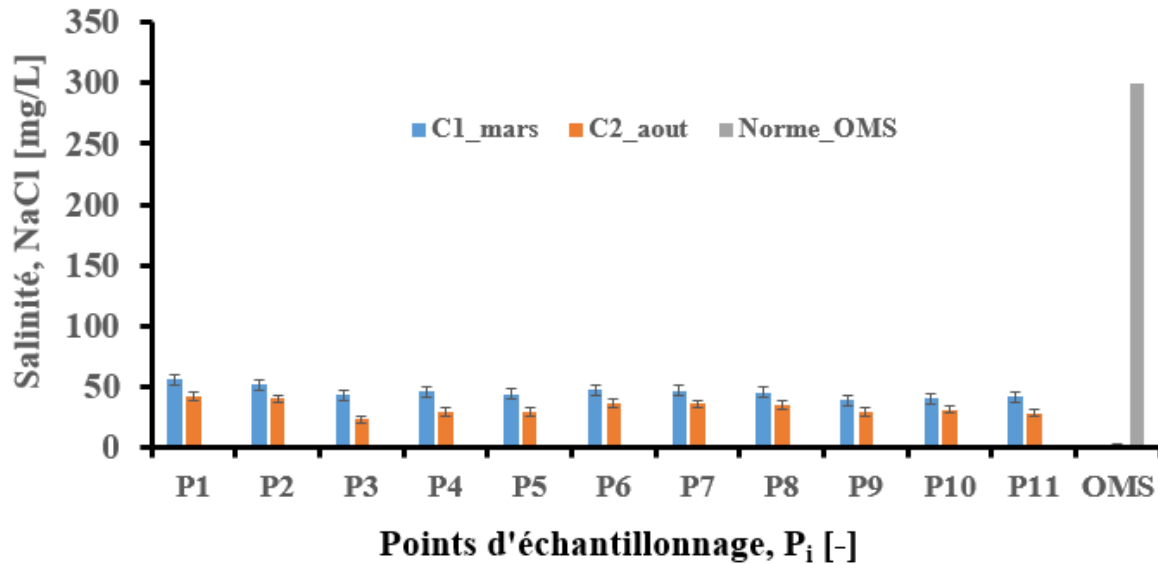


Figure 4 : Variation de la salinité (NaCl) en fonction des points de prélèvement (P_i), et durant les saisons humide (C_{1_mars}) et sèche (C_{2_aout}). Norme-OMS, représente la valeur guide édictée par l'OMS.

La teneur en baryum, Ba^{2+} [mg/L] : Les résultats de la mesure de la concentration en ion baryum ainsi que la valeur guide donnée par les standards de l'OMS, sont présentés sur la Figure 5. En période humide, la teneur en Ba^{2+} varie de 9 mg/L au point P_1 et 5 mg/L au point P_{10} . En période de saison sèche, on observe une diminution, allant de 8 à 4,5 mg/L

entre les points (P_2/P_3) et P_{11} . En revanche, que ce soit en saison pluvieuse ou en saison sèche, on constate que les valeurs observées sont huit (8) à neuf (9) fois supérieures à la teneur admissible ($Ba^{2+} \leq 0,7$ mg/L, OMS). Le canal du bassin versant de Nzeng-Ayong est donc très fortement pollué par le baryum.

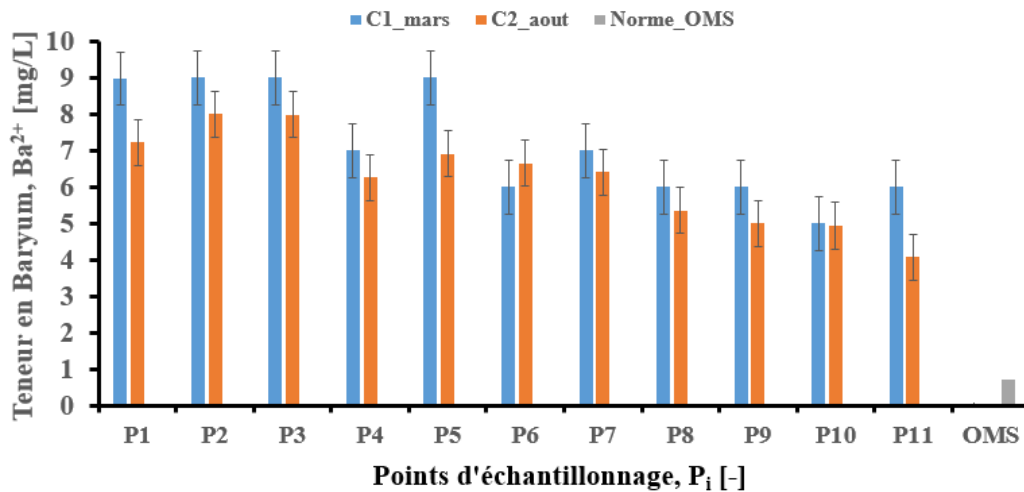


Figure 5 : Variation de la teneur en baryum (Ba^{2+} , mg/L) en fonction des points de prélèvement (P_i), et durant les saisons humide ($C1_mars$) et sèche ($C2_août$). Norme-OMS, représente la valeur guide édictée par l’OMS.

La teneur en fer total, Fe [mg/L] : Les résultats concernant la concentration en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) sont consignés sur la Figure 6. Ils montrent que : durant la saison de pluie, au point P_1 on a une teneur en fer très élevée dès le départ, avec un pic en $Fe= 1,5$ mg/L. la teneur la plus basse vaut 0, 3 mg/L entre les points P_4 , P_7 , P_8 et P_{11} . Pour l’ensemble des points, la moyenne en fer vaut ($0,7\pm 0,36$ mg/L), soit 2,3 fois plus que le seuil de l’OMS, $Fe\leq 0,3$ mg/L. Une altération de la qualité de l’eau due à la présence du fer, est donc manifeste en période pluvieuse. Au contraire,

en saison sèche la valeur la plus faible ($Fe= 0,12$ mg/L) est atteinte au point P_3 , tandis que la plus forte ($Fe= 0,64$ mg/L) est trouvée aux points P_5 et P_6 . On note également que la pollution par le fer n’est pas uniformément répartie sur tous les points échantillonnés : elle est plus accentuée au niveau des points de prélèvement P_5 , P_6 et P_2 , suivi de la série P_8 et P_9 . La moyenne saisonnière de la teneur en fer vaut $0,3\pm 0,18$ mg/L, donc très proche, voire égale à la valeur limite environnementale, et réduite de moitié par rapport à la saison pluvieuse.

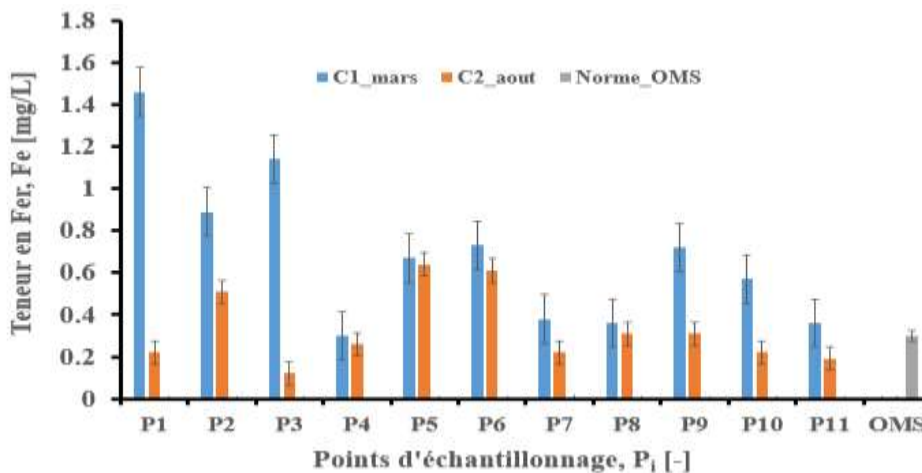


Figure 6 : Variation de la teneur en fer total (Fe, mg/L) en fonction des points de prélèvement (P_i), et durant les saisons humide ($C1_mars$) et sèche ($C2_août$). Norme-OMS, représente la valeur guide édictée par l’OMS.

La teneur en cations métalliques, X^{n+} [mg/L] : calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+) et potassium (K^+) : Le Tableau 2 présente les résultats d’analyses de la variation de la teneur

en ions Ca^{2+} , Na^+ et K^+ en fonction du point échantillonné P_i , aussi bien en saison humide (C_1) qu’en saison sèche (C_2).

Tableau 2 : Teneurs moyennes en [mg/L] de calcium (Ca^{2+}), de sodium (Na^+) et de potassium (K^+), en fonction du point d'échantillonnage P_i , et durant les saisons humide (C_1) et sèche (C_2).

Échantillonnage [-]	[Ca^{2+}]		[Na^+]		[K^+]	
	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
P_1	0,25±0,01	0,21±0,04	36,36±0,02	38,44±0,04	42,82±0,28	32,55±0,01
P_2	0,76±0,01	0,55±0,02	33,55±0,15	29,74±0,19	62,30±0,71	56,23±0,06
P_3	0,77±0,01	0,53±0,01	28,05±0,02	22,22±0,03	93,50±0,28	77,24±0,03
P_4	0,52±0,02	0,59±0,06	29,15±1,06	21,95±0,09	96,05±1,06	76,13±1,12
P_5	1,09±0,08	1,29±0,01	28,62±0,14	26,43±0,01	86,95±1,06	66,01±0,02
P_6	0,83±0,01	0,88±0,07	30,86±0,06	28,03±0,02	92,50±0,42	77,90±0,01
P_7	1,66±0,01	1,72±0,01	29,74±0,88	31,90±0,05	58,55±0,21	46,22±0,27
P_8	0,63±0,05	0,73±0,06	29,33±0,16	19,96±0,11	62,35±0,35	60,33±0,88
P_9	1,15±0,09	1,26±0,02	25,45±0,21	22,18±0,06	80,71±0,71	76,61±0,05
P_{10}	0,92±0,01	0,95±0,04	26,36±0,19	24,62±0,04	75,05±0,64	70,09±0,07
P_{11}	1,09±0,02	0,89±0,12	27,44±0,42	31,01±0,55	67,89±0,30	61,22±0,39
$\overline{P_i}$	0,88±0,37	0,87±0,43	29,54±3,14	26,95±5,54	74,42±17,15	63,68±14,50
Norme OMS	100		150		12	

Toutes les valeurs sont la moyenne de deux mesures (moyenne \pm SD, n=2) exprimées en mg/L. Les nombres en surbrillance jaune représentent la valeur maximale et minimale de la teneur en ion X^{n+} ; et en gras, la moyenne des P_i .

Pour le calcium et le sodium, les échantillons d'eau de tous les points ont des teneurs largement inférieures à la limite d'acceptabilité données par les standards de l'OMS, et ce durant les deux campagnes de prélèvement. La valeur minimale pour le titre calcique est de 0,25±0,01 mg/L, atteinte au point P_1 et la valeur maximale vaut 1,66±0,01 mg/L au point P_7 (en saison pluvieuse), tandis qu'en saison sèche, la teneur en Ca^{2+} oscille entre 0,21±0,04 (P_1) et 1,72±0,01 mg/L (P_7). Pour cet ion, on n'observe presque pas de différence entre les valeurs moyennes obtenues en saison de pluie (Ca^{2+} = 0,88±0,37 mg/L) et celles données en période d'étiage (Ca^{2+} = 0,87±0,43 mg/L). Pour ce qui est du sodium, on passe de 36,36±0,02 au point P_1 à 25,45±0,21 mg/L au point P_9 en

saison de pluie, et de 38,44±0,04 à 19,96±0,11 mg/L par temps sec. La valeur moyenne en Na^+ atteint les 29,54±3,14 et 26,95±5,54 mg/L durant les saisons de pluie et sèche, respectivement. Par contre, pour l'ion potassium, on constate un taux de dégradation de 5 à 6 fois supérieur à la limite admissible. En saison humide, la teneur en K^+ passe respectivement de 42,82±0,28 en P_1 et 93,50±0,28 mg/L en P_3 , avec une moyenne autour de 74,42±17,15 mg/L pour l'ensemble des points. En saison sèche, on atteint les 32,55±0,01 et 77,24±0,03 mg/L en K^+ , pour ces mêmes points. La moyenne estimée est égale à 74,42±17,15 (saison humide) et 63,68±14,50 mg/L (saison sèche), pour l'ensemble des échantillons.

La teneur en anions métalliques, X^{n-} [mg/L]: sulfates (SO_4^{2-}), nitrates (NO_3^-) et phosphates (PO_4^{3-})

Pour tous les points de prélèvement et pour les deux périodes d'échantillonnage, on remarque des teneurs en anions, soit très faibles, soit sous la forme de traces et largement en-dessous des seuils de toxicité fixés par les directives de l'OMS (respectivement de 400, 50 et 1 mg/L,

pour SO_4^{2-} , NO_3^- et PO_4^{3-}), (Cf. Tableau 3). Signe d'une bonne qualité des eaux et donc non polluées par les ions sulfates, nitrates et phosphates. Plus précisément et en saison de pluie, la valeur minimale en ions SO_4^{2-} , donne 0,99±0,02 mg/L (en P_6) et la valeur maximale

est de $2,94 \pm 0,08$ mg/L (en P₇), alors que durant la saison sèche, elle passe de $0,47 \pm 0,04$ à $2,99 \pm 0,04$ mg/L en SO₄²⁻. La teneur moyenne en sulfates est égale à $1,56 \pm 0,84$ et $1,30 \pm 0,80$ mg/L, respectivement en saison humide et en saison sèche. En ce qui concerne les nitrates, dans l'ensemble, on voit que les valeurs relevées sont très négligeables, en comparaison au seuil OMS. Le point P₄ montre un pic de $0,42 \pm 0,02$ mg/L en (NO₃⁻) et le point P₈ enregistre une valeur de $5,85 \pm 0,30$ mg/L (période pluvieuse), avec une moyenne de $1,94 \pm 1,72$ mg/L. Au contraire et en période d'étiage, on dénote des valeurs de $0,32 \pm 0,01$ et

$5,88 \pm 0,40$ mg/L en NO₃⁻ (P₄ et P₈), et la moyenne vaut $1,96 \pm 1,78$ mg/L. Enfin, pour les phosphates, la même tendance est remarquée : c'est-à-dire que les concentrations moyennes en PO₄³⁻ tendent vers des valeurs proches de zéro ($0,07 \pm 0,05$ mg/L en saison de pluie) et ($0,08 \pm 0,09$ mg/L en saison sèche). Les valeurs minimale et maximale sont respectivement de $0,02 \pm 0,01$ et $0,18 \pm 0,01$ mg/L en période humide et $0,01 \pm 0,02$ à $0,26 \pm 0,03$ mg/L, en saison sèche. Ce qui montre une quasi absence de dégradation de la qualité de l'eau du canal, par les ions phosphates.

Tableau 3 : Teneurs moyennes en [mg/L] de sulfates (SO₄²⁻), de nitrates (NO₃⁻) et de phosphates (PO₄³⁻), en fonction du point d'échantillonnage P_i, et durant les saisons humide (C₁) et sèche (C₂).

Échantillonnage [-]	[SO ₄ ²⁻]		[NO ₃ ⁻]		[PO ₄ ³⁻]	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
P ₁	1,03±0,04	1,55±0,01	0,80±0,14	0,60±0,11	0,03±0,01	0,01±0,02
P ₂	1,99±0,01	2,09±0,02	1,50±0,42	1,77±0,02	0,06±0,01	0,04±0,01
P ₃	1,00±0,01	0,98±0,02	1,33±0,04	1,43±0,01	0,08±0,02	0,01±0,02
P ₄	1,12±0,17	1,32±0,12	0,42±0,02	0,32±0,01	0,04±0,01	0,06±0,02
P ₅	1,01±0,01	1,01±0,01	1,11±0,01	1,19±0,02	0,05±0,01	0,07±0,03
P ₆	0,99±0,02	0,77±0,02	1,37±0,47	1,51±0,03	0,07±0,01	0,05±0,01
P ₇	2,94±0,08	2,99±0,04	0,85±0,07	0,55±0,05	0,02±0,01	0,04±0,02
P ₈	2,93±0,10	2,04±0,31	5,85±0,30	5,88±0,40	0,15±0,04	0,26±0,03
P ₉	ND	0,59±0,01	3,60±0,28	3,69±0,03	0,03±0,01	0,02±0,05
P ₁₀	ND	0,47±0,04	0,65±0,21	0,69±0,02	0,18±0,01	0,24±0,02
P ₁₁	0,99±0,02	0,49±0,08	3,84±0,66	3,94±0,52	0,04±0,01	0,05±0,02
P_i	1,56±0,84	1,30±0,80	1,94±1,72	1,96±1,78	0,07±0,05	0,08±0,09
Norme OMS	400		50		1	

Toutes les valeurs sont la moyenne de deux mesures (moyenne ± SD, n=2) exprimées en mg/L. Les nombres en surbrillance jaune représentent la valeur maximale et minimale de la teneur en ion Xⁿ⁻, et en gras, la moyenne des P_i; ND : Non détectable.

DISCUSSION

La qualité de l'effluent du canal de drainage du bassin versant de Nzeng-Ayong a été évaluée. Ainsi, plusieurs paramètres physico-chimiques ont été suivis. Les résultats d'analyse montrent que le pH moyen de l'eau du canal varie de $7,4 \pm 0,27$ durant la saison de pluie, contre $6,5 \pm 0,24$ en saison sèche. La valeur moyenne en saison sèche est inférieure à celle observée pendant la saison de pluie (Cf. Figure 3). Ce qui dénote d'une eau à pH neutre en saison

pluvieuse et acide en saison sèche. La moyenne de pH en saison de pluie est proche de celle obtenue par Konan et al. (Konan Kouakou, *et al.*, 2018), qui obtiennent un pH acide aux alentours de 6,55 durant la même saison, lors de leur travail sur la qualité des eaux dans la ville de Soubre en Côte-d'Ivoire. Le pH détermine également la corrosivité de l'eau, et en général, plus le pH est bas, plus on a un niveau de corrosion assez élevé (Mbaka,

al., 2017). Les eaux acides, au contact des matériaux utilisés pour la fabrication du canal, en l'occurrence le béton et le ciment, contribuent fortement à la corrosion. En saison sèche, la valeur moyenne est comparable et très proche de celle obtenue par. (Nienie, *et al.*, 2017), lorsque les auteurs ont étudié la variabilité saisonnière de la qualité de l'eau par les indices physico-chimiques et la traçabilité des métaux dans la banlieue de Kikwit, en République démocratique du Congo. Ils observent un pH compris entre 7 et 8. D'après les auteurs, la géologie du site d'échantillonnage serait à l'origine de la distribution de la valeur finale du pH. (Noumon, *et al.*, 2015), observent une réponse contraire : le pH est bas en période de hautes eaux (pH=7) et haut en période de basses eaux (pH=8,51). La salinité traduit le degré de minéralisation globale d'une eau (sa mesure permet d'avoir une idée sur la conductivité électrique. Les résultats obtenus montrent des valeurs moyennes en salinité de $45,7 \pm 4,92$ et $32,9 \pm 5,71$ mg/L durant les saisons humide et sèche, respectivement (Cf. Figure 4). Le niveau plus élevé obtenu en saison humide, par rapport à la saison sèche, pourrait être apporté par les eaux pluviales. Le résultat observé en saison de pluie est en accord avec une précédente étude, réalisée par les mêmes auteurs, dans les mêmes conditions tropicales (Pambou, *et al.*, 2020). Ils observent une salinité moyenne de $42,82 \pm 1,74$ mg/L dans une eau de rivière. Par contre, ce niveau de salinité est largement en-dessous de celui obtenu par (Yapo, *et al.*, 2010), dans l'article portant sur l'évaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique, dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan, en Côte d'Ivoire. Dans cet article, la teneur en sel totale des eaux souterraines est voisine de 369,4 mg/L, soit huit (8) fois plus que celle donnée par la présente étude. (Mehounou, *et al.*, 2016) quant'à eux, obtiennent des valeurs de salinités presque similaires, que ce soit en saison de pluie qu'en saison sèche, valeurs qui

oscillent entre 0,001 et 1 mg/L. En ce qui concerne l'ion baryum, la moyenne observée en saison de pluie vaut $7,2 \pm 1,53$ mg/L et tend à décroître d'environ 1% en période d'étiage ($6,3 \pm 1,28$ mg/L) (Cf. Figure 5). Les concentrations obtenues sont fortement supérieures au seuil d'admissibilité des normes environnementales ($Ba^{2+} \leq 0,7$ mg/L, OMS), soit environ neuf (9) à dix (10) fois plus. Ce qui signifie que la ressource est fortement contaminée par les ions baryum. Cette pollution presque exponentielle et plutôt dangereuse, pourrait être attribuée aux nombreuses activités pratiquées dans et autour du canal : ateliers de fabrications de meubles, fabriques de soudure métalliques, étales de transformations de produits halieutiques, déversements de déchets en tout genre (Cf. Figure 2/b, c et d). De plus, les niveaux observés sont supérieurs à ceux enregistrés par Pambou *et al.*, 2020. dans un article traitant de la qualité des eaux de puits et de rivière dans le même quartier. Les auteurs ont obtenu des teneurs moyennes en Ba^{2+} , respectivement de $4,75 \pm 1,71$ mg/L dans les puits usagés et $4,33 \pm 1,15$ mg/L dans le cours d'eau. Ce qui suggère que la zone Est de la capitale gabonaise devrait faire l'objet d'un monitoring environnemental, afin de déclencher l'alerte au niveau des pouvoirs publics, quant'à la mise en œuvre d'un plan de surveillance. Les composés du baryum sont irritants pour les muqueuses et les yeux. S'agissant du fer, la concentration moyenne est égale à $0,7 \pm 0,36$ mg/L (par temps de pluie) et $0,3 \pm 0,18$ mg/L (par temps sec), comme déjà précisé à la Figure 6. Ce qui traduit une toxicité par le fer en temps de pluie (2,3 fois plus), au regard du seuil d'acceptabilité de l'OMS ($Fe \leq 0,3$ mg/L). Cette pollution aurait une origine plutôt anthropique, et serait accentuée par la présence d'engins de l'entreprise en charge d'effectuer les travaux de terrassement et d'extension du canal (voir Figure 2/d). Mieux encore, une petite usine spécialisée dans la fabrication des pavés vient d'être implantée en plein cœur du

canal, au lieu-dit 'Camp-soako'. En effet, la firme utilise des matériaux qui pourraient participer à l'oxydation des espèces chimiques du fer, induisant ainsi leur transfert dans la ressource hydrique. En revanche, en saison sèche, une diminution considérable (environ 1,33%), de la teneur en fer est observable, diminution qui pourrait être attribuée aux activités d'assainissement dudit canal. Le niveau moyen en fer et en saison sèche est assez voisin de celui observé par Ahoudi *et al.* 2015. ($\text{Fe} = 0,22 \text{ mg/L}$), lors d'une étude sur la qualité des eaux de puits/forages du quartier Agoè-zongo au Togo. En revanche, dans cet article, aucune précision n'est donnée sur la période d'échantillonnage. En saison de pluie, la teneur en fer est plus basse que celle enregistrée par. (Mbawala, *et al.*, 2010). Dans leurs travaux, les auteurs mesurent une concentration en fer de l'ordre de $0,97 \pm 0,01 \text{ mg/L}$, lors de l'évaluation de la pollution physico-chimique et microbiologique des eaux, à Ngaoundéré au Cameroun. Avec le Manganèse, les sels de fer sont responsables de la mauvaise qualité organoleptique (couleur noire /rouge respectivement et goût métallique), ainsi que des risques de corrosion des canalisations dans les réseaux d'eau potable. Les teneurs moyennes, en calcium ($0,88 \pm 0,37$ à $0,87 \pm 0,43 \text{ mg/L}$) et en sodium ($29,54 \pm 3,14$ à $26,95 \pm 5,54 \text{ mg/L}$), respectivement en période humide et en saison sèche, traduisent une excellente qualité de l'eau, en lien avec les standards de l'OMS (Cf. Tableau 2). Le titre calcique est très proche de l'unité, que ce soit en saison de pluie ou en saison sèche, et presque négligeable devant celui donné par les travaux (Ahoudi, *et al.*, 2015), qui montrent une valeur minimale dans les eaux de forages de ($\text{Ca}^{2+} = 108,92 \text{ mg/L}$) et une concentration maximale ($\text{Ca}^{2+} = 178,54 \text{ mg/L}$) dans les eaux de puits. Les auteurs concluent à une bonne qualité des eaux des deux ressources étudiées. En réalité, dans leur travail, Ils fixent le seuil réglementaire du calcium à 400 mg/L , alors qu'il est

normalement inférieur ou égal à 100 mg/L (Cf. Tableau 2). Ce qui conduit donc à une pollution calcique des eaux étudiées par lesdits auteurs. S'agissant du sodium, la valeur moyenne en saison de pluie est légèrement au-dessus de celle notée par (Kapembo, *et al.*, 2016), au cours de la même période ($\text{Na}^+ = 21,90 \pm 15,40 \text{ mg/L}$, en saison pluie). En revanche, en saison de pluie, la teneur en sodium rapportée par les auteurs est double ($\text{Na}^+ = 56,00 \pm 33,81 \text{ mg/L}$, en saison sèche). Un excès en calcium dans l'eau n'a presque pas d'effet négatif sur la santé humaine, au contraire, il est impliqué dans la calcification osseuse. Dans l'environnement, et associé au magnésium, le calcium pose surtout des problèmes de dureté de l'eau, d'entartrage des canalisations (Welch, *et al.*, 2000). Pour le sodium, il semblerait qu'aucune directive sanitaire n'est encore proposée à ce jour. En revanche, l'ion potassium, donne des teneurs comprises entre $74,42 \pm 17,15$ et $63,68 \pm 14,50 \text{ mg/L}$, respectivement en saison pluvieuse et en saison sèche (Voir. Tableau 2). Soit une teneur en K^+ six (6) fois supérieure à la norme référencée par l'OMS. Le seuil de toxicité pour une eau non polluée étant de l'ordre de 12 mg/L de K^+ . Ce qui démontre bien que l'eau du canal est contaminée par le potassium, à des doses voisines de 4,3 à 5,2%. Cette pollution potassique s'explique par plusieurs raisons ; incluant les rejets d'eaux usées, les décharges de déchets solides à ciel ouvert, le manque de latrines par certains ménages, qui déversent donc leur produits fécaux directement dans les réseaux d'évacuation (Mubedi, *et al.*, 2013, Mwanamoki, *et al.*, 2015; Kapembo, *et al.*, 2016. En revanche, une tendance opposée est remarquée par Kapembo, *et al.*, 2016, dans l'étude sur la qualité des eaux de puits : la teneur moyenne en potassium augmente lorsqu'on passe de la saison humide ($\text{K}^+ = 17,33 \pm 15,40 \text{ mg/L}$) à la saison sèche ($\text{K}^+ = 31,67 \pm 20,56 \text{ mg/L}$), expliquée ici par l'effet de dilution durant la saison pluvieuse. Au contraire, (Nienie, *et al.*, 2017), rapportent que

la teneur en potassium varie (de $8,9 \pm 1,6$ à $12,2 \pm 1,7$ mg/L) en saison de pluie et (de $3,9 \pm 0,6$ à $8,2 \pm 1,3$ mg/L) en saison sèche. Pour les eaux superficielles, les auteurs trouvent ($6,1 \pm 1,8$ et $19,8 \pm 2,2$ mg/L de K^+) en saison de pluvieuse et ($4,5 \pm 0,3$ à $16,5 \pm 1,4$ mg/L de K^+) en saison sèche. L'excès de potassium dans les eaux a des effets néfastes sur la santé humaine (WHO, 2011). Ces effets sont surtout accentués pour des personnes déjà souffrantes de maladies rénales. Pour les ions sulfates, nitrates et phosphates, et pour les deux périodes d'échantillonnage (humide/sèche), des teneurs presque négligeables sont observées, soient de $1,56 \pm 0,84$ et $1,30 \pm 0,80$ mg/L pour les SO_4^{2-} , de $1,94 \pm 1,72$ et $1,96 \pm 1,78$ mg/L pour les NO_3^- et enfin, de $0,07 \pm 0,05$ et $0,08 \pm 0,09$ mg/L pour les PO_4^{3-} (Cf. Tableau 3). Le canal du bassin versant n'est donc pas pollué par les espèces chimiques que sont : les sulfates, les nitrates et les phosphates. Les valeurs moyennes en phosphates sont voisines de celles notées par Kapembo *et al.* (Kapembo, *et al.*, 2016), Le niveau des ions PO_4^{3-} varie de $0,14 \pm 0,19$ mg/L

en saison pluie et de $0,78 \pm 0,77$ mg/L en saison sèche. Par contre, pour les sulfates et les nitrates, les auteurs notent des valeurs largement supérieures : SO_4^{2-} vaut $7,07 \pm 6,52$ mg/L en saison pluie et $15,99 \pm 12,17$ mg/L en saison sèche. Pour les NO_3^- , une augmentation encore plus prononcée est notée : $232,87 \pm 42,86$ et $562,26 \pm 129,353$ mg/L, respectivement en saison pluie et en saison sèche. Enfin, il est à noter que les nitrates et les phosphates sont des ions indispensables à la croissance de la flore aquatique. En revanche, en concentration excessive et souvent apportés par l'activité humaine, ils participent au déséquilibre de l'écosystème aquatique, pouvant aboutir au phénomène d'eutrophisation, voire de dystrophisation du milieu. Malik, *et al.*, 2011 et Müller, *et al.*, 2008, rapportent que des teneurs excessives en nitrates et phosphates dans l'eau proviennent surtout des activités agricoles, des déchets d'abattoirs d'animaux, et des usines chimiques utilisant de l'azote organique. Ce qui n'est pas très loin des observations notées par cette étude.

CONCLUSION ET APPLICATIONS DES RÉSULTATS

À l'heure actuelle, la protection et la préservation des ressources en eau constituent un problème environnemental de premier ordre. La croissance démographique avec pour corollaire l'amplification des activités humaines, s'accompagne de rejets accrus qui se traduisent souvent par des perturbations du milieu aquatique. Les résultats de cette étude montrent que l'effluent du canal du bassin versant de Nzeng-Ayong a tendance à être neutre en saison humide et acide en saison sèche. La majorité des polluants analysés se situent en-dessous du seuil de toxicité recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé. La ressource n'est donc pas polluée par les espèces chimiques autres que les ions : baryum, fer et potassium. En revanche, pour ces espèces dissoutes incriminées (Ba^{2+} , Fe^{2+}/Fe^{3+} et K^+), une pollution avérée et non

négligeable est constatée. Ce qui dénote une influence plutôt négative sur la qualité écologique du bassin versant. La situation est d'autant plus préoccupante et alarmante en saison de pluie qu'en saison sèche et ce, pour le baryum et le potassium, qui atteignent des pics respectifs de dix (10) et six (6) fois plus que la moyenne admissible. Le fer quant' à lui, montre un optimum de toxicité d'environ deux (2) fois plus que la limite environnementale tolérée. L'approche développée dans cette étude, permet de mieux comprendre et mieux cerner les risques encourus par une pollution des systèmes aquatiques de drainage des eaux, surtout dans des villes caractérisées par un manque criard d'infrastructure de recyclage des eaux usées, qui pour la plupart du temps, sont déversées dans les canaux de ruissellement. Ce qui contribue in fine à la

pollution de la mer, notamment dans les grandes métropoles à l'exemple de Libreville, qui donne directement sur l'océan atlantique. Enfin, il serait aussi intéressant d'élargir l'étude sur les plans d'eau des autres bassins versants de la capitale gabonaise, notamment

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent un grand merci au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique du Gabon, par l'entremise du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST), qui encadre les activités des Chercheurs. Nos remerciements vont aussi à l'endroit des techniciens qui ont assuré avec minutie l'échantillonnage, lors des différentes

par des études complémentaires de bactériologie, qui permettraient d'estimer la charge microbienne en pathogènes. Le couple physico-chimie/microbiologie présenterait dans ce cas, un panel plus large de la cartographie des zones à risque.

campagnes de prélèvement. On pense notamment à Mme Annie Flore ISSOMBE et M. Flavien IBINGA. Enfin, les auteurs remercient les autres collaborateurs du Centre National des Données et de l'Information Océaniques (CNDIO) pour leurs commentaires et relectures, indispensables sans nul doute à l'aboutissement de ce Tapuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFD, 2013. Gabon Assainissement pluvial de Libreville, l'Eau et l'Assainissement : mieux gérer la ressource et relever le défi de l'accès universel. Rapport technique, Agence Française de Développement, p22
- AFNOR. (2008). Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'Environnement-Partie I : Prélèvement d'eau de surface. FD T90-523-1, p22.
- Ahoudi, H., Gnandi, K., Tanouayi, G., & Ouro-Sama, K. (2015). Caractérisation physico-chimique et état de pollution par les éléments de traces métalliques des eaux souterraines de Lomé (Sud Togo) : cas du quartier Agoe Zongo. *Larhyss Journal*, 12(4), 41-56.
- Ambica, A., Banuraman, S., & Ilayaraja, K. (2012). An assessment of groundwater quality and its parameters around Perungudi, the southern part of Chennai, India. *International Journal of Engineering and Technology*, 3, 30-40.
- APHA. (2011). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Vol. 21st Ed). American Public Health.
- Djuikom, E., Temgoua, E., Jugnia, L., Nola, M., & Baane, M. (2009). Pollution bactériologique des puits d'eau utilisés par les populations dans la communauté urbaine de Douala-Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5), 967-978.
- Hébert, S., & Légaré, S. (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Direction du suivi de l'état de l'environnement, . Ministère de l'Environnement, no ENV-2001-0141, Rapport no. QE-123, P24, Québec.
- Kapembo, M., Laffite, A., Bokolo, M., Mbanga, A., Maya-Vangua, M., Otamonga, J.-P., Poté, J. (2016). Evaluation of water quality suburban shallow wells under tropical conditions according to seasonal variation, Bumbu, Kinshasa, Democratic republic of the Congo. *Exposure and Health*, 8(4), 487-496.
- Konan Kouakou, S., Goue, D., Ohou-Yao, M., Kouame, K., Kouassi, L., & Dongui, K. (2018). Qualité chimique des eaux de

- consommation des populations de la ville de Soubre (Sud-EST, Cote d'Ivoire). *International Journal of Advanced research*, 6(1), 58-65.
- Laffite, A., Kilunga, P., Kayembe, J., Devarajan, N., Mulaji, C., Giuliani, G., Poté, J. (2016). Hospital effluents are one of several sources of metal, antibiotic resistance genes, and bacterial markers disseminated in sub-saharan urban rivers. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1128.
- Malik, R., & Nadeem, M. (2011). Spatial and temporal characterization of trace elements and nutrients in the Rawal lake reservoir, Pakistan using multivariate analysis techniques. *Environmental Geochemical Health*, 33(6), 525-541.
- Mavakala, B., Faucheur, S., Mulaji, C., Laffite, A., Devarajan, N., & Oté, J. (2016). Leachates draining from controlled municipal solid waste landfill : Detailed geochemical characterization and toxicity tests. *Waste Management*, 55, 238-248.
- Mbaka, P., Mwangi, J., & Kiptum, C. (2017). Assessment of water quality in selected shallow wells of Keiyo Highlands, Kenya. *African Journal of Science Technology Innovation and Development*, 9(3), 1-10.
- Mbawala, A., Ngassoum, A., & Ngassoum, M.-B. (2010). Evaluation de la pollution physico-chimique et microbiologique des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(6), 1962-1975.
- Mehounou, J., Josse, R., Dossou-Yovo, P., Senou, S., & Toklo, R. (2016). Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. *Journal of Applied Biosciences*, 103, 9841-9853.
- Montgomery, M., & Elimelech, M. (2007). Water and sanitation in developing countries : including health in the equation. *Environmental Science and Technology*, 41(1), 17-24.
- Mubedi, J., Devarajan, N., Le Faucheur, S., Mpuku, J., Atibu, E., Sivalingam, P., Poté, J. (2013). Effects of untreated hospital effluents on the accumulation of toxic metals in sediments of receiving system under tropical conditions : case of South India and Democratic Republic of Congo. *Chemosphere*, 93(6), 1070-1076.
- Mubedi, J., Devarajan, N., Le Faucheur, S., Mputu, J., Atibu, E., Sivalingam, P., Poté, J. (2013). Effets of untreated hospital effluents on the accumulation of toxic metals in sediments of receiving system under tropical conditions : case of South India and Democratic Republic of Congo. *Chemosphere*, 93(6), 1070-1076.
- Muller, B., Berg, M., Yao, Z., Zhang, X., Wang, D., & Pfluger, A. (2008). How polluted is the Yangtze river? Water quality down stream from the Three Gorges Dam. *Science of the Total Environment*, 402, 232-247.
- Mwanamoki, P., Devarajan, N., Niane, B., Ngelinkoto, P., Thevenon, F., Nlandu, J., Poté, J. (2015). Trace metal distributions in the sediments from river-reservoir systems : case of the Congo River and Lake ma Vallée, Kinshasa (Democratic Republic of Congo). *Environmental Science Pollution Ressource*, 22(1), 586-597.
- Nienie, A., Sivalingam, P., Laffite, A., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.-P., Matand, A., Poté, J. (2017). Seasonal variability of water quality by physicochemical indexes and traceable metals in suburban area in Kikwit,

- Democratic Republic of the Congo. International Soil and Water Conservation Research, 5, 158-165.
- Noumon, C., Mama, D., Dedjiho, C., Agbossou, E., & Ibouraima, S. (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique et du risque d'eutrophisation de la retenue d'eau de Kogbétohouè (Sud du Benin). *Journal of Applied Biosciences*, 85, 7848-7861.
- Pambou, Y., Mikolo, A., Apinda, E., Ngayila, N., Massolou, A., & Ngomanda, A. (2020). Évaluation de la qualité des eaux de puits et de rivière, utilisées par certaines populations de la ville de Libreville au Gabon : cas du quartier Nzenz-Ayong Dragages. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 50(2), 148-165.
- Poté, J., Haller, L., Loizeau, J.-L., Garcia Bravo, A., Sastre, V., & Wildi, W. (2008). Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bioresource Technology*, 99(15), 7122-7131.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., & O'Neill, J. (2009). Groundwater pollution in shallow wells in Southern Malawi and a potential indigenous method of water purification. (S. Publishing, Éd.) *Appropriate Technologies for Environmental Management in the Developing World*, 169-179.
- Welch, P., David, J., Clarke, W., Trinidad, A., Penner, D., Bernstein, S., Adesiyun, A. (2000). Microbial quality of water in rural communities of trinidad. *Rev Panam Salud Publica*, 8(3), 172-180.
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking water quality (4th Ed)*. Geneva, World Health Organization, Switzerland: pp541.
- Yapo, O., Mambo, V., Seka, A., Ohou, M.-J., Konan, F., Gouzile, V., Houenou, P. (2010). Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestiques dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Cote d'Ivoire) : Koumassy, Marcory, Port-Bouet et Treichville. *International Journal of Biology and Chemistry Science*, 4(12), 289-307.