
RESEARCH ARTICLE

Physico-chemical characterization of Lake Togbadji

Caractérisation physico-chimique du lac Togbadji

ELEGBEDE Vitalique¹ ✉, KPADONOU Dominique², DOSSOU-GBETE Joël³ and GBAGUIDI A. N. Magloire⁴

¹³University of Abomey-Calavi (UAC) / Doctoral School of Exact and Applied Sciences

²⁴Research Unit in Ecotoxicology and Study of Quality, Laboratory of Study and Research in Applied Chemistry, Department of Chemical Engineering-Processes (GC-P), Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, 07 BP 507, Benin

Corresponding Author: ELEGBEDE Vitalique, **E-mail:** vitaliqueelegbede@yahoo.fr

ABSTRACT

This study focused on the physico-chemical characterization of Lake Togbadji, located in southwestern Benin. The methodological approach followed was as follows: literature review, sampling and in-situ measurements, analysis of collected samples, and data processing. Parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen, TDS, and ORP were determined in-situ, while color, TSS, and other parameters were analyzed in the laboratory. The obtained results were subjected to descriptive statistics, the Wilcoxon test for two samples to determine the impact of different locations on the abundance of microbiological contaminants, and Principal Component Analysis (PCA) using R software version 3.5.0 to group pollution parameters according to different levels and sources of contamination. From our results, it was found that the main sources of pollution in Lake Togbadji are runoff water, various wastewater discharges from artisanal activities, livestock farming, and open defecation. On a physico-chemical level, the recorded levels do not suggest pollution of the lake.

Resume

La présente étude a porté sur la caractérisation physico-chimique du lac Togbadji situé au Sud-ouest du Bénin. La démarche méthodologique suivie est la suivante : Revue de bibliographie, Campagne d'échantillonnages et de mesures in-situ puis analyse des échantillons collectés et le traitement des données générées. Le pH, la température, l'oxygène dissous, TDS et ORP ont été déterminés in-situ ; la couleur, MES et les autres paramètres au laboratoire. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une statistique descriptive, du test de Wilcoxon à deux échantillons pour déterminer l'impact des différentes localités sur l'abondance des contaminants microbiologiques, d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) avec le logiciel R version 3.5.0, afin de regrouper les paramètres de pollution suivant les différents niveaux et sources de contamination. De nos résultats, il ressort que les principales sources de pollution du lac Togbadji sont les eaux de ruissellement, les rejets de diverses eaux usées issues des activités artisanales. L'élevage du bétail et la défécation à l'air libre. Sur le plan physico-chimique, les teneurs enregistrées ne permettent pas de suspecter une pollution du lac.

KEYWORDS

Physico-chemical degradation, aquatic environment, Lake Togbadji

Dégradation physico-chimique, milieu aquatique, lac Togbadji

ARTICLE INFORMATION

ACCEPTED: 18 November 2023

PUBLISHED: 11 December 2023

DOI: 10.32996/ijbpcs.2023.5.2.6

1. Introduction

L'eau est une ressource naturelle précieuse indispensable à la vie et au développement socio-économique des peuples. Elle est inégalement répartie à la surface du globe. A certains endroits de la terre l'accès aux ressources en eau est très difficile à cause de sa géolocalisation et/ou des roches réservoirs. A cette inégale répartition s'ajoute les menaces d'altération des ressources en eau. Elles sont menacées aussi bien par des processus naturels qu'anthropiques (Kazi et al., 2009). Comme menace on peut citer les glissements de terrain, le volcanisme, les tempêtes, la qualité physico-chimique des roches réservoirs, l'agriculture, l'industrie,

l'artisanat, la poussée démographique, les transports, la mauvaise gestion des rejets, la destruction des ressources naturelles, les établissements de soins de santé animale et humaine, (Strobl & Robillard, 2008). Misant sur les propriétés épuratrices des milieux naturels, l'Homme a toujours confié à l'environnement la fonction gratuite de faire disparaître ou d'éloigner de lui les indésirables qu'il rejette (Lévi, 2017). Ce comportement irresponsable, a fait de nos jours de la disponibilité et surtout de la qualité des ressources en eau les questions les plus stratégiques de notre temps. Si autrefois la dégradation microbiologique naturelle et/ou anthropique des ressources en eaux naturelles a été et reste préoccupante, de nos jours avec l'essor des sciences, des techniques et des technologies la pollution chimique est venue se greffer à la pollution microbiologique et complique d'avantage la gestion de la qualité des ressources en eau. L'altération physico-chimique et/ou microbiologique des eaux naturelles a des conséquences aussi bien sur les ressources en eau elle-même que sur les populations inféodées à ces ressources en eau. Le constat nous révèle que la pollution industrielle, agricole et artisanale sont les plus importantes et les plus menaçantes dans les pays les moins avancés (Gbaguidi, 2018). Or, l'importance des ressources en eau pour la vie aquatique que terrestre explique, a contrario, que la dégradation de leur qualité impacte obligatoirement la qualité sanitaire de la chaîne alimentaire jusqu'au prédateur suprême, l'Homme (Lévi, 2017). Ainsi, de par sa fonction, une fois menacée, les ressources en eau deviennent menaçantes par la perte de la biodiversité, les maladies hydriques microbiennes ou non, la désertification, l'exode rural, la perturbation des activités socio-économiques, etc. Près de 80% des maladies et 3,1% des décès au monde sont attribuées à la mauvaise qualité des ressources en eau (www.ConsoGlobe.com). Le Bénin dispose d'une diversité d'écosystèmes humides se traduisant par la présence d'un important réseau hydrographique inégalement réparti sur l'ensemble du territoire national. Ce réseau est constitué de nombreux cours d'eau, de lacs, de lagunes et de retenues d'eau (Azonsi et al., 2008). A l'instar du constat mondial, les ressources en eau du Bénin sont aussi exposées aux menaces naturelles et anthropiques. Dans l'optique de préserver ces écosystèmes aquatiques et le bien-être environnemental, socio-économique et sanitaire des populations, il est très important de faire un état des lieux de la pollution des cours et plan d'eau du Bénin. Plusieurs études sont menées dans ce sens sur bon nombre de ressources en eaux du Bénin surtout les plus importantes et/ou stratégiques, mais il existe toujours des plans et cours d'eau pour lesquels très peu d'études ont été réalisées comme c'est le cas par exemple du lac Togbadji. Il est donc alors fondamental de bien connaître les dangers et de mieux quantifier les risques pour pouvoir mieux fixer les objectifs ambitieux de prévention, de protection et de gestion adaptées des ressources en eau et les écosystèmes inféodés. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude dont l'objectif est d'évaluer le niveau de pollution physico-chimique lac Togbadji.

2. Revue De Litterature

La température est un facteur important de la vie, elle s'exprime en degré Celsius ou en Kelvin et permet d'avoir une idée sur l'agitation thermique des substances en présence. Les êtres vivants sont très sensibles à sa variation. Son élévation conduit à la dénaturation des enzymes et empêche le fonctionnement normal des organismes. Elle conditionne la solubilité des substances en solution, la conductivité électrique, le métabolisme, ... (Akotègnon, 2022). La température est un paramètre important intervenant dans les équilibres chimiques et biologiques ; il conditionne la saturation en oxygène dissous des eaux et par conséquent influence considérablement la vie aquatique (Berha, 2013).

La turbidité est un paramètre caractérisant l'état turbide d'une eau et est appréciée par la mesure de la limite de visibilité par la méthode au platine ou la méthode au disque de Secchi ou plus scientifiquement par la mesure de la lumière diffusée à 90° par rapport à la lumière incidente dans des turbidimètres étalonnés régulièrement par des témoins opalescents au formazine (Degrémont, 2005). Elle est l'inverse de la limpidité d'une eau et permet de quantifier approximativement les colloïdes, les limons, les argiles et autres matières non décantables en présence dans le milieu de mesure (Berha, 2013 ; Akotègnon, 2022). Ce paramètre s'exprime soit en Unité de Turbidité Néphélométrique (NTU ou UTN en français), soit en Unité Néphélométrique à la Formazine (FNU), soit en Unité de turbidité formazine (FTU), soit en Turbidité Formazine par atténuation (TFA ou FAU), soit en Unité de Turbidité Jackson (JTU). La Nephelometric Turbidity Unit (NTU) est l'unité standard de mesure de la turbidité. La FNU est le plus souvent utilisée lorsque l'on se réfère à la méthode de turbidité ISO 7027 (européenne). La NTU est mesuré grâce à un appareil du nom de turbidimètre qui fonctionne selon le principe spectrométrique. Sa valeur trop élevée en milieu aquatique peut entraîner le colmatage des branchies des poissons conduisant à leur mort. La turbidité des eaux de surface est en grande partie due à la présence des particules colloïdales de grandes tailles de 0,2 à 5,0 µm de diamètre. En traitement de l'eau, elle doit être éliminée pour permettre une bonne désinfection de l'eau, pour éliminer les polluants adsorbés aux particules en suspension, éviter les dépôts le long des conduites de distribution et surtout pour inspirer confiance aux consommateurs (Degrémont, 2005).

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 2009). La majorité des matières dissoutes dans les eaux naturelles sont sous formes ioniques. Plus ce paramètre est élevé, plus l'eau soumise aux analyses est chargée d'ions (Akotègnon, 2022). Exprimée en siemens par mètre (S/m) ou en microsiemens par centimètre (µS/cm) la conductivité est globalement mesurée avec une sonde conductimétrique et fournit une indication capitale sur la concentration totale en sels dissous (Berha, 2013). La conductivité varie en fonction de la température et de la quantité de sels dissous dans l'eau (Degrémont, 2005).

La couleur vraie obtenue après filtration est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales et est mesurée par comparaison à une solution de référence de platine-cobalt exprimée en degré Hazen ou en mg/L ; son élimination permet non seulement de rendre l'eau à boire agréable mais aussi conduit à l'élimination de certaines matières organiques indésirables comme les précurseurs des haloformes ou trihalométhanes (THM) (Degrémont, 2005). De façon historique, la couleur ou l'aspect des eaux usées permettaient d'estimer leur âge (Berha, 2013).

Matières en suspension (MES) est un paramètre qui englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donnée ou par rassemblement sous forme de culot par centrifugation, qu'on pèse pour déterminer la quantité de MES en mg/Litre d'eau analysée (Akotègnon, 2022). Aucune corrélation générale n'existe entre MES et la turbidité mais une telle corrélation pourrait être établie pour chaque eau (Degrémont, 2005). La présence de ces matières dans l'eau fait mention d'une pollution physique qui n'est rien d'autre que la présence d'objets flottants dans la colonne d'eau. Elles regroupent des particules organiques et inorganiques (minérales) qui sont insolubles dans l'eau (Berha, 2013).

L'oxygène dissous est très indispensable pour la vie aquatique animale car leur survie en dépend. Dans les milieux aquatiques, l'oxygène dissous provient soit de l'aération des surfaces d'eau par l'air qui circule ou de la photosynthèse des plantes aquatiques. La disponibilité de cet oxygène dissous dépend des matières organiques biodégradables en présence, de la température et des microorganismes présents dans le milieu (Akotègnon, 2022). La détermination de ce paramètre se fait par plusieurs méthodes telles que : la méthode volumétrique (la méthode de Winkler) et la méthode potentiométrique. La méthode volumétrique est souvent utilisée si l'échantillon à analyser ne contient pas de substances réductrices ou oxydantes comme des sulfures, sulfites, nitrites ou chlore (Rodier, 2009).

TDS (Total Dissolved Solids) signifie sels totaux dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau (sels organiques ou matières inorganiques) qui peuvent issues des sources naturelles ou des activités anthropiques (Houemenou, 2010). Il est très important de contrôler le TDS de son eau car les niveaux élevés des TDS sont pour la plupart dus non seulement aux ions chlorures, sodium et potassium mais aussi aux ions toxiques (arsenic, plomb, cadmium, nitrates et autres) dont la présence dans l'organisme est source de danger.

Le potentiel d'oxydo-réduction (POR) ou Oxydo-Reduction Potential (ORP) en anglais mesure la capacité d'un lac ou d'une rivière à s'auto-épurer ; lorsque le POR est élevé, il y a beaucoup d'oxygène dans l'eau. La consommation fréquente d'une eau de boisson très oxydante (eau possédant un ORP élevé) peut entraîner le vieillissement prématuré des cellules du corps à l'origine des scléroses, la maladie de Parkinson, l'Alzheimer ; la marge de -300 mV à -200mV est très conseillée pour la consommation humaine et surtout, il est fortement déconseillé d'avoir un POR en dessous de -400mV. Le POR présente une influence capitale sur la mobilité des métaux dans les eaux et les sédiments (Batoul, 2018).

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide (Wikipédia, 2022). Selon le dictionnaire français la salinité est l'état de ce qui contient du sel, des sels (Trésor de la Langue Française Informatisé, 2018). Selon EDUTERRE, la salinité est exprimée en g/Kg d'eau et représente la masse de sel dissous dans 1L. Exprimée en milligramme par Litre (mg/L), la salinité totale est la somme des cations et des anions présents (Degrémont, 2005).

Le potentiel hydrogène (pH) permet de connaître le niveau d'acidité de l'échantillon. Plus le pH s'éloigne du pH neutre, plus la vie biologique devient difficile ; s'il oscille dans la marge 5 à 9, cela facilite la vie et la croissance de la flore et faune aquatiques. Il varie en fonction de la température et sa détermination se fait par colorimétrie ou par potentiométrie (Akotègnon, 2022). C'est un paramètre important qui joue sur les équilibres chimiques et biologiques ; en jouant donc sur l'équilibre, il peut avoir d'interaction ou amplification de l'action d'autres polluants, l'ammonium NH_4^+ dont la toxicité dépend de la fraction d'ammoniac NH_3 est un exemple (Berha, 2013). En traitement de l'eau, le pH est un paramètre fondamental à prendre en compte au moment de la coagulation car à chaque eau, correspond une plage de pH optimal de traitement. En dehors de cette plage optimale, soit on utilise une quantité importante de coagulant ou on corrige le pH en essayant de le ramener dans la marge optimale par usage de neutralisant (acide, chaux ou la soude) pour pouvoir produire une eau de qualité. Une solution aqueuse est de nature acide si son $\text{pH} < 7$ et basique à $\text{pH} > 7$ (Degrémont, 2005).

3. Methodologie

3.1 Zone d'étude :

Situé dans le sud-ouest du Bénin, précisément dans le delta du Mono, le lac Togbadji est un vaste étendu d'eau stagnante d'une superficie environ de 9,1509 km² et d'une profondeur allant de 4m à 14m. Il est situé entre la latitude 6° 44'36 nord et la longitude 1° 42'9 est et à proximité des localités de Agbodranfo, Adrogbodji, Adjakomey, Bakpohoué, Kpolédji, Takon et Togbadji. Avec une forme d'épée orienté sud-nord, c'est une source d'eau naturelle que partage en commun les communes de Dogbo et de Lokossa dans les départements du Mono et du Couffo. Le lac Togbadji constitue la principale source d'eau de l'arrondissement d'Ayomi dans la commune de Dogbo. C'est l'un des plus importants lacs de la périphérie de la vallée alluviale du bassin de Mono et de la

Sazué caractérisé par un réseau hydrographique dégradé et complexe. Il est alimenté par les apports d'eau de ruissellement venant de plusieurs horizons.

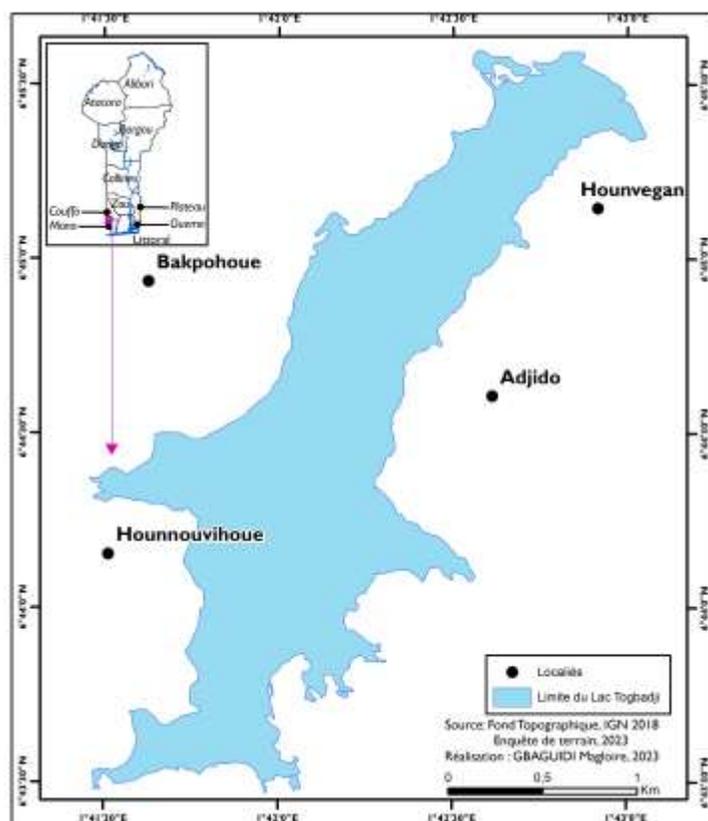


Figure 1 : Carte de situation du lac Togbadji

3.2 Revue de littérature

La recherche documentaire a consisté à parcourir sur internet et dans les bibliothèques les articles, mémoires et thèses traitant de la pollution physico-chimique et microbiologique des plans et cours d'eau, de ses impacts environnementaux et sanitaires, des techniques de recherche et de dosage des paramètres de suivi de la qualité des eaux naturelles à partir des matrices environnementales. Cette revue de littérature nous a permis d'approfondir nos connaissances sur notre thème et de bien cerner tous ses contours.

3.3 Visites prospectives

Les visites prospectives sur le terrain nous ont permis de nous familiariser avec les réalités des zones d'échantillonnage. Deux visites prospectives (une en saison sèche et une en saison pluvieuse) ont été organisées pour identifier les sites d'échantillonnages et les groupes cibles à enquêter. Nous avons également profité de cette visite de terrain pour sensibiliser les riverains sur le travail à effectuer afin d'avoir leur adhésion pour la suite des travaux.

3.4 Les campagnes d'échantillonnage

Les campagnes d'échantillonnage sont au nombre de quatre, prises deux fois chaque année, à raison d'une en saison sèche et une en saison pluvieuse. Tous les échantillons d'eau ont été récupérés dans des flacons en plastique d'eau minérale de 1,5 L préalablement vidés, savonnés sans détergent, rincés à l'eau de robinet puis trois fois à l'eau distillée. Avant tout échantillonnage, les flacons ainsi conditionnés sont rincés trois fois à l'eau à échantillonner. Les échantillons sont récupérés en double dans la colonne d'eau à environ 10 cm de la surface. Après prélèvements, les flacons sont étiquetés et rangés dans une glacière munie d'accumulateur de froids et acheminés au laboratoire pour des analyses.

3.5 Analyse au laboratoire

Au laboratoire, les échantillons d'eau sont conservés à 4°C au réfrigérateur jusqu'au démarrage des analyses pour ralentir la dégradation des échantillons. Les paramètres comme le pH, la température, la conductivité électrique, les Solides Totaux Dissous (TDS), la salinité et l'oxygène dissous ont été mesurés *in situ* selon la norme NF EN 25814 à l'aide d'un multi paramètre de type

Aqualyse Professional Plus YSI. Les Kits de Winkler et de Aquamerck 1.11136.0001 ont servi respectivement pour la mesure de l'oxygène dissous et le fer total *in situ* par voie chimique.

Les méthodes normalisées de détermination des différents paramètres physico-chimiques sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Méthodes normalisées utilisées pour la détermination des paramètres de laboratoire

Les différents paramètres	Principe de la méthode	Référence de la méthode
MES	Filtration de l'eau sur filtre en fibre de verre puis séché à 105±2°C et détermination gravimétrique par différence de masses	NF EN 872
Turbidité	Emission de radiation de $\lambda = 860$ nm dans un échantillon et mesure de la radiation diffusée transmise sous l'effet des particules en suspension.	NF EN ISO 7027
O ₂ dissous	Immersion d'une sonde constituée d'une cellule fermée par une membrane sélective perméable à l'O ₂ dissous et contenant l'électrolyte et deux électrodes métalliques dans l'eau à analyser.	NF EN 25814

(Source : Présente étude)

4. Resultats Et Discussion

4.1 Résultats

4.1.1 Description des paramètres en saisons pluvieuse et sèche

Tableau 2 : Description des paramètres physico-chimiques des eaux du Lac Togbadji en saison sèche

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type (n)	Coefficient de variation (n)
pH	6,700	7,400	7,029	0,212	0,030
Turbidité	10,040	19,980	15,233	2,490	0,163
TDS	67,800	72,310	69,545	1,371	0,020
Température	29,490	31,720	30,599	0,761	0,025
Oxygène dissous	4,510	8,200	5,580	1,053	0,189
Potentiel d'oxydo-réduction	172,260	255,830	207,626	17,573	0,085
MES	5,000	19,000	12,643	3,753	0,297

(Source : Présente étude)

De l'analyse des données du tableau, on note sur le plan physico-chimique, les valeurs du pH sont comprises entre 6,7 et 7,4 avec une moyenne de $7,03 \pm 0,212$ et un coefficient de variation %CV de 3 montrant que les valeurs mesurées de pH sont homogènes. La moyenne est alors représentative de la série. Cette moyenne annuelle des saisons sèches est comprise entre 6 et 9. Selon la réglementation bruxelloise du 17/12/2015 modifiant celle du 24/03/2011 établissant des normes de qualité environnementale, des normes de qualité de base et des normes chimiques pour les eaux de surface contre la pollution causée par certaines substances dangereuses et autres polluants, le pH ne permet pas de suspecter une pollution chimique des eaux du lac Togbadji. La turbidité est comprise entre 10 et 20 NTU avec une moyenne saisonnière de $15,23 \pm 2,49$ NTU et un %CV = 16,3. Les mesures de la turbidité en saison sèche sont homogènes et la moyenne calculée est représentative de la série. Cette moyenne est supérieure à 5 NTU recommandée par le Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité des eaux potables en République du Bénin en application à la loi n° 98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin, en son titre II, chapitre 1^{er} et section II des normes physico-chimiques. Les Solides Totaux Dissous (TDS) sont compris entre 67,8 et 72,3 mg/L avec une moyenne de $69,54 \pm 1,37$ mg/L. Le coefficient de variation %CV est de 2. Alors les valeurs prises par cette série sont homogènes et la moyenne est représentative de la série. Aucune valeur normative ne régit ce paramètre. La température varie entre 29,9 et 31,72°C avec une moyenne de $30,6 \pm 0,76$ °C et un %CV de 2,5. La température des eaux naturelles n'est plus un paramètre de suivi de la qualité des ressources en eau. Par contre la loi bruxelloise précitée exige que la température des eaux de surface soit inférieure à 25°C. Au regard de cette réglementation les eaux du lac Togbadji sont trop chaudes. Mais au regard de nos réalités climatiques cette valeur ne pose pas vraiment de problèmes ni à la vie aquatique, ni aux divers usages des eaux de ce lac. La teneur en oxygène dissous oscille entre 4,51 et 8,2 mg/L avec une moyenne de $5,6 \pm 1,05$ mg/L et un %CV = 18,9. Dans ce cas également la moyenne est représentative de la série. La loi bruxelloise exige une valeur supérieure à 6 mg/L d'oxygène

dissous pour les eaux de surface. Au regard de cette loi les eaux du lac Togbadji sont pauvres en oxygène en saison sèche. Cette relative anorexie couplée à d'autres perturbations physico-chimiques et/ou microbiologiques peuvent impacter la vie aquatique. Le potentiel d'oxydo-réduction (POR) varie entre 172,3 et 255,8 mV avec une moyenne de $207,63 \pm 17,57$ mV et un %CV de 8,5. Les valeurs mesurées du POR sont homogène et la moyenne est représentative de la série. Bien que les valeurs prises par ce paramètre ne soient pas quadrillées par une norme, les valeurs enregistrées au cours de la présente étude caractérisent un milieu non réducteur. La salinité est comprise entre 1,06 et 1,08 ppt avec une moyenne de $1,07 \pm 0,007$ ppt et un %CV = 0,7. Cette faible salinité dénote d'une faible minéralisation des eaux du lac Togbadji. Les TDS faibles analysés plus haut corroborent cette tendance. Les Matières en Suspension (MES) oscillent entre 5 et 19 mg/L avec une moyenne de $12,64 \pm 3,75$ mg/L et un %CV = 29,7. Les exigences réglementaires bruxelloises en matière de la qualité des eaux de surface fixent une valeur maximale à ne pas atteindre de 50 mg/L. Au regard de cette réglementation les eaux du lac Togbadji sont acceptables.

Tableau 3 : Description des paramètres physico-chimiques du Lac Togbadji en saison pluvieuse

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type (n)	Coefficient de variation (n)
pH	5,500	8,050	7,184	0,698	0,097
Turbidité	10,040	14,730	13,034	1,516	0,116
TDS	81,000	84,000	83,286	0,952	0,011
Température	28,350	31,420	30,542	0,844	0,028
Oxygène dissous	4,240	8,200	5,535	1,102	0,199
Potentiel d'oxydo-réduction	179,800	284,800	222,286	28,261	0,127
MES	16,000	28,000	23,786	3,509	0,148

(Source : Présente étude)

De l'analyse des données du tableau 3, on note qu'en saison pluvieuse les valeurs du pH sont comprises entre 5,5 et 8,05 avec une moyenne de $7,184 \pm 0,698$ et un coefficient de variation %CV de 9,7 montrant que les valeurs mesurées de pH sont homogènes comme en saison sèche. La moyenne est alors représentative de la série. Cette moyenne annuelle des saisons humides est comprise entre 6 et 9. Selon la réglementation bruxelloise établissant des normes chimiques pour les eaux de surface, le pH ne permet pas de suspecter une pollution chimique des eaux du lac Togbadji en saison pluvieuse. La turbidité est comprise entre 10,04 et 14,73 NTU avec une moyenne saisonnière de $13,034 \pm 1,516$ NTU et un %CV = 11,6. Les mesures de la turbidité en saison pluvieuse sont homogènes et la moyenne calculée est représentative de la série. Cette moyenne est supérieure à 5 NTU recommandée par la réglementation béninoise pour l'eau potable. Les Solides Totaux Dissous (TDS) sont compris entre 81 et 84 mg/L avec une moyenne de $83,3 \pm 0,95$ mg/L. Le coefficient de variation %CV est de 1,1. Cette série est homogène et la moyenne est représentative de la série. Aucune valeur normative ne régit ce paramètre. La température varie entre 28,35 et 31,42°C avec une moyenne de $30,54 \pm 0,84$ °C et un %CV de 2,8. La température des eaux naturelles n'est plus un paramètre de suivi de la qualité des ressources en eau. Par contre la loi bruxelloise précitée exige que la température des eaux de surface soit inférieure à 25°C. Au regard de cette réglementation les eaux du lac Togbadji même en saison pluvieuse sont trop chaudes. Mais au regard de nos réalités climatiques cette valeur ne pose pas vraiment de problèmes ni à la vie aquatique, ni aux divers usages des eaux de ce lac. La teneur en oxygène dissous oscille entre 4,24 et 8,2 mg/L avec une moyenne de $5,5 \pm 1,12$ mg/L et un %CV = 19,9. Dans ce cas également la moyenne est représentative de la série. La loi bruxelloise exige une valeur supérieure à 6 mg/L d'oxygène dissous pour les eaux de surface. Au regard de cette loi les eaux du lac Togbadji sont pauvres en oxygène en saison pluvieuse. Cette teneur moyenne d'O₂ dissous est bien justifiée au regard de la température moyenne de la zone qui tourne autour de 30,54°C. Le potentiel d'oxydo-réduction (POR) varie de 179,8 à 284,8 mV avec une moyenne de $222,3 \pm 28,26$ mV et un %CV de 12,7. Les valeurs mesurées du POR sont homogène et la moyenne est représentative de la série. Les TDS faibles analysés plus haut corroborent également cette tendance. Les Matières en Suspension (MES) varie de 16 à 28 mg/L avec une moyenne de $23,8 \pm 3,51$ mg/L et un %CV = 14,8. Les exigences réglementaires bruxelloises en matière de la qualité des eaux de surface fixent une valeur maximale à ne pas atteindre de 50 mg/L. Au regard de cette réglementation les eaux du lac Togbadji sont acceptables. De façon générale les valeurs prises par les paramètres physico-chimiques aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse sont homogènes. Au niveau de ces paramètres les eaux du lac paraissent stables.

4.1.2 Analyse comparée des paramètres physico-chimiques en saisons sèche et pluvieuse

➤ Cas de la température :

La figure 1 présente les valeurs moyennes de température en saison sèche et en saison pluvieuse. De l'analyse des deux histogrammes, il ressort que la p-value est supérieure à 0,05. Donc il n'existe pas de différence significative entre les moyennes de température en saison sèche et en saison pluvieuse. En effet, l'eau à sa densité maximale à 4°C. Toute variation de températures

en dessous ou en deçà de 4°C fait déplacer des masses d'eau du haut vers le bas et vis-versa. Ces déplacements de masse d'eau ont pour but de stabiliser les températures et les climats dans les régions proches des plans et cours d'eau. Ce paramètre ne permet pas de suspecter une pollution du plan d'eau.

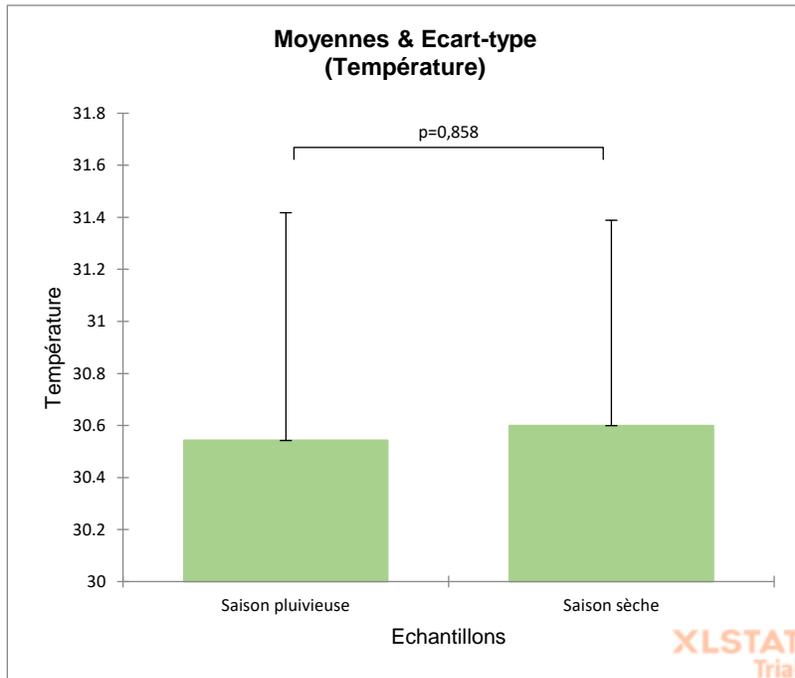


Figure 2 : comparaison inter saison des valeurs moyennes de température (Source : Présente étude)

La distribution saisonnière de la température à la surface du plan d'eau est illustrée par la planche 1.

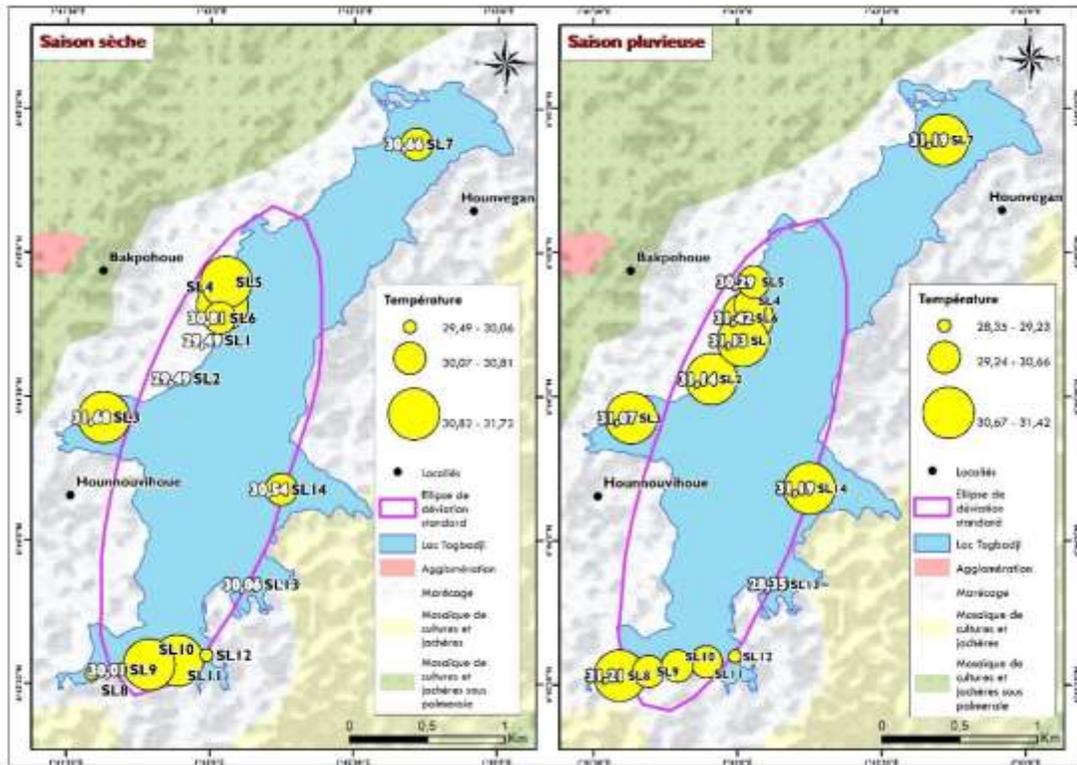


Figure 3 : distribution de la température en saison sèche

Figure 4 : distribution de la température en saison pluvieuse

Planche 1 : Variation spatio-temporelle de la température sur le lac Togbadji (Source : Présente étude)

La figure 3 de la planche 1 montre les distributions des valeurs de température dans le milieu d'étude en saison sèche. De l'analyse de cette figure, on constate que l'ellipse de direction est étirée dans la direction nord/sud. Elle couvre 12 points sur 14 points d'observation soit 85,71% des valeurs de température. Nous en déduisons l'existence d'une direction dans la distribution des valeurs de température. Ce qui permet de soupçonner une dépendance spatiale des valeurs de température en saison sèche, d'où la nécessité de tester l'autocorrélation spatiale.

Le calcul de l'indice d'autocorrélation spatiale effectué sur les 14 points de collecte et les valeurs observées sur ces points présentent les résultats suivants : Indice d'autocorrélation spatiale de Moran = 0,162189 ; Indice attendue = -0,076923 ; Variance = 0,025525 ; Z Score = 1,496636 ; p-value = 0,134488. L'indice de Moran est proche de 0, ce qui amène à conclure que la réalisation de la variable aléatoire régionalisée est donc indépendante. Il n'est donc possible de prédire les valeurs de température en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui les sépare. Pour confirmer cette indépendance observée, il est donc nécessaire de vérifier la validité de cette indépendance spatiale à l'échelle globale. Ce test statistique d'indépendance de la variable régionalisée donne un Z score égale à 0,239091. Ce Z score confirme l'interprétation de l'indice de Moran et indique l'inexistence en saison sèche de corrélation spatiale à l'échelle globale.

La figure 4 de la planche 1 montre les distributions des valeurs de température dans le milieu d'étude en saison pluvieuse. De l'analyse de cette figure, on remarque que l'ellipse de déviation standard a également une direction nord/sud. Il couvre 12 points d'observation sur 14 soit 85,71% de la distribution. Ces statistiques indiquent une orientation dans la distribution spatiale des valeurs de la température en saison pluvieuse. Le calcul de l'indice d'autocorrélation spatiale effectué sur les 14 points de collecte en saison pluvieuse et les valeurs observées sur ces points présentent les résultats suivants : Indice d'autocorrélation spatiale de Moran = -0,110754 ; Indice attendue = -0,076923 ; Variance = 0,031147 ; Z Score = -0,191692 ; p-value = 0,847983. L'indice de Moran est proche de 0, d'où la réalisation de la variable aléatoire régionalisée est donc indépendante. Il n'est donc possible de prédire en saison pluvieuse les valeurs de température en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui les sépare.

➤ Cas de pH

La figure 5 compare les valeurs moyennes de pH en saison sèche et en saison pluvieuse. De l'analyse des deux histogrammes, il ressort que la p-value est supérieure à 0,05. Donc globalement il n'existe pas de différence significative entre les moyennes de pH en saison sèche et en saison pluvieuse. Mais, l'écart-type est plus grand en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Autrement dit les valeurs enregistrées sont plus regroupées autour de la moyenne en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Donc malgré l'inexistence de différence significative entre les moyennes de pH en saison sèche et en saison pluvieuse, cela n'empêche pas à suspecter des zones de fortes concentrations et des zones de faibles concentrations en saison pluvieuse contrairement en saison sèche.

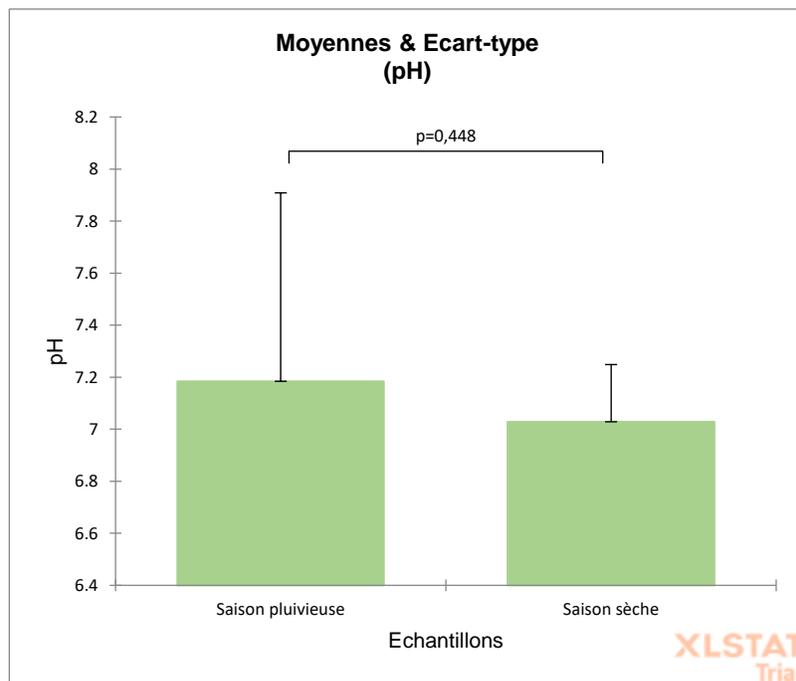


Figure 5 : comparaison inter saison des valeurs moyennes de pH (Source : Présente étude)

La planche 2 présente la distribution spatiale et saisonnière des valeurs de pH dans la zone d'étude. La figure 6 de la planche 2 montre les distributions des valeurs de pH dans le milieu d'étude en saison sèche. De l'analyse de cette figure, on constate comme dans le cas de la température que l'ellipse de déviation est étirée sur l'axe nord/sud. Elle couvre 10 points d'observation sur 14 soit 71,4% des valeurs de pH. Donc, on peut prétendre à l'existence d'une direction dans la distribution des valeurs de pH. Ce qui permet de soupçonner une dépendance spatiale des valeurs de pH en saison sèche.

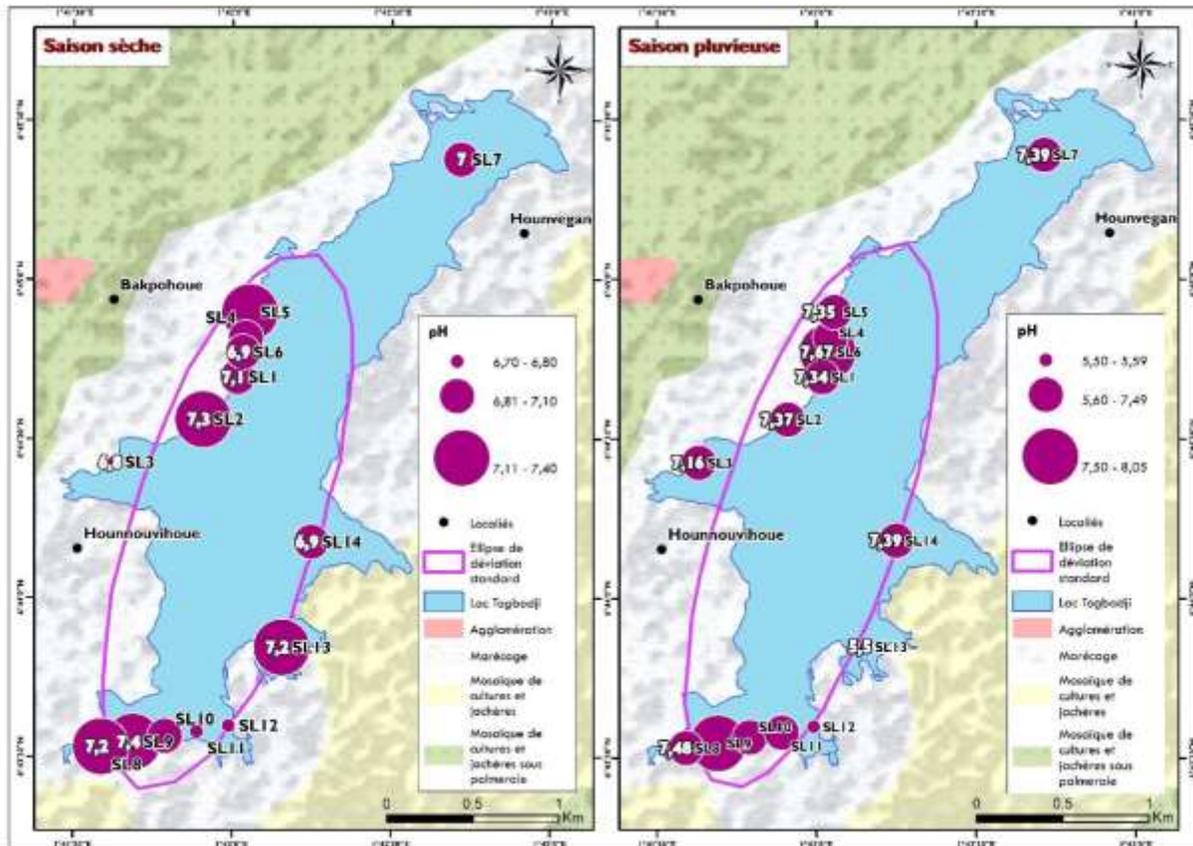


Figure 6 : distribution des valeurs de pH en saison sèche	Figure 7 : distribution des valeurs de pH en saison pluvieuse
Planche 2 : distribution spatio-temporelle du pH sur le lac Togbadji (Source : Présente étude)	

De l'analyse des données, il ressort que l'indice de Moran est différent de 0, ce qui amène à conclure que la réalisation de la variable aléatoire régionalisée est donc dépendante. Il est donc possible de prédire les valeurs de pH en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui les sépare. Cette dépendance observée peut être le fruit du hasard. Il est donc nécessaire de vérifier la validité de cette dépendance spatiale à l'échelle globale. Ce test statistique de dépendance de la variable régionalisée donne un Z score égale à 0,875098. Ce Z score confirme l'interprétation de l'indice de Moran et indique l'existence en saison sèche de corrélation spatiale à l'échelle globale. Que deviennent ces tendances en saison pluvieuse ?

La figure 7 de la planche 2 présente les distributions des valeurs de pH dans le milieu d'étude en saison pluvieuse. De l'analyse de cette figure, on remarque que l'ellipse de déviation standard est étirée nord/sud. Il couvre 9 points d'observation sur 14 soit 64,2% de la distribution. Ces statistiques indiquent une orientation dans la distribution spatiale des valeurs de pH en saison pluvieuse qui est toujours étirée dans la direction nord/sud.

De l'analyse des données, on remarque l'indice de Moran est proche de 0 traduisant une indépendance des données à l'échelle globale. Cette indépendance à l'échelle globale peut cacher des dépendances régionalisées qui peuvent être révélée par la statistique de la Générale G dont les résultats d'analyse sont toujours consignés dans le tableau IV.4 et donne Général G observé = 0,001127 ; Général G attendu 0,001130 ; variance 0,000000 ; Z-score = -0,332370 et la p-value est de 0,739610. Ce Z score confirme l'interprétation de l'indice de Moran et indique l'inexistence en saison pluvieuse de corrélation spatiale à l'échelle globale

➤ Cas des Solides Totaux Dissous (TDS)

La figure 8 présente la comparaison des moyennes saisonnières de la turbidité mesurée sur le lac Togbadji. L'analyse des histogrammes révèle une p-value inférieure à 0,05 traduisant une différence significative entre les deux moyennes. Les écart-types sont relativement restreints traduisant un regroupement des valeurs enregistrées autour des moyennes. Donc chacune des moyennes est représentative des séries. On alors se baser sur les moyennes pour faire les comparaisons et prendre de décisions. Les solides totaux dissous sont plus importants en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

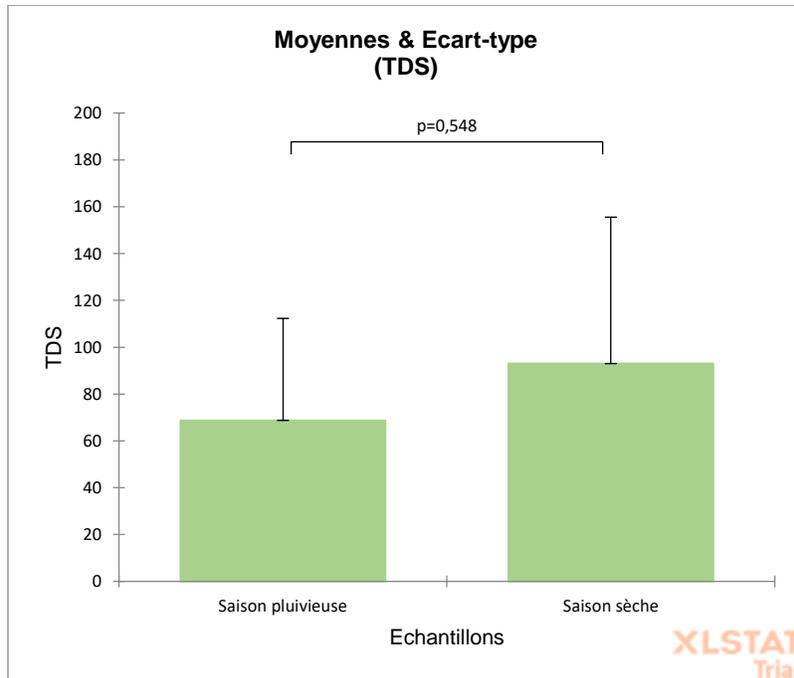


Figure 8 : comparaison des moyennes saisonnières de la turbidité

Les cartes des figures 9 et 10 de la planche 3 présentent la distribution spatio-temporelle des Solides Totaux Dissous (TDS).

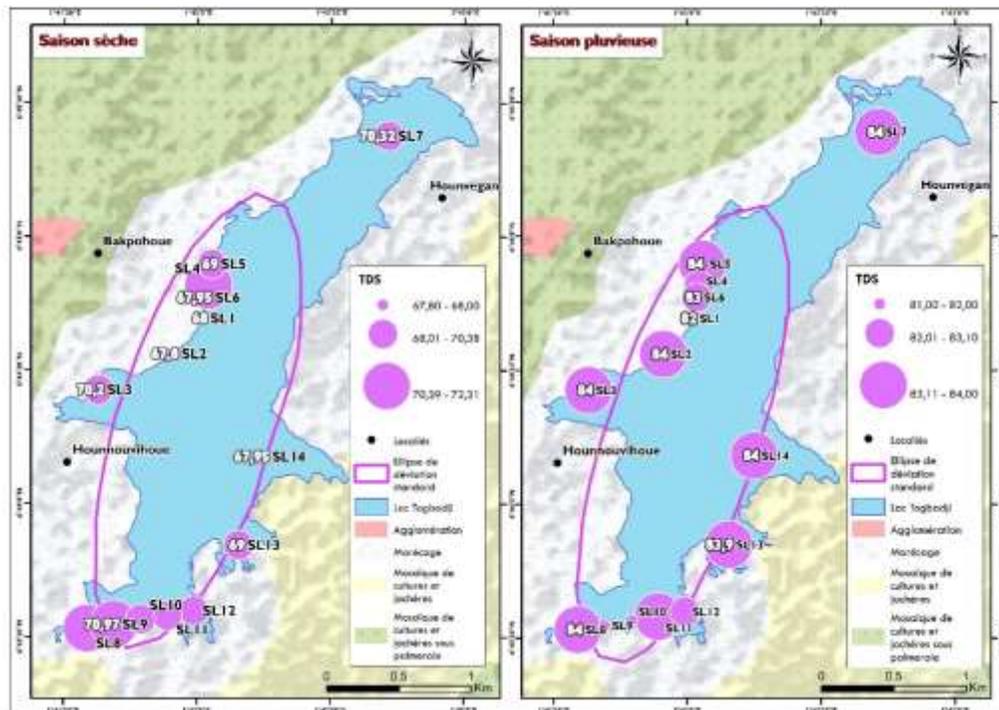


Figure 9 : distribution des TDS en saison sèche

Figure 10 : distribution des TDS en saison pluvieuse

Planche 3 : Variation spatio-temporelle des TDS sur le lac Togbadji (Source : Présente étude)

La figure 9 de la planche 3 montre les distributions des valeurs des Solides Totaux Dissous (TDS) dans le milieu d'étude en saison sèche. De l'analyse de cette figure, on constate que l'ellipse de direction est étirée dans la direction nord/sud et couvre 10 points d'observation sur 14 soit 71,4% des valeurs de Solides Totaux Dissous (TDS). Nous en déduisons l'existence d'une direction dans la distribution des valeurs des Solides Totaux Dissous (TDS). Ce qui permet de soupçonner une dépendance spatiale des valeurs de TDS en saison sèche. Le calcul de l'indice d'autocorrélation spatiale effectué sur les 14 points de collecte et les valeurs observées sur ces points sont présentés dans le tableau IV.8. L'Indice d'autocorrélation spatiale de Moran est proche de 0 et amène à conclure que la réalisation de la variable aléatoire régionalisée est donc indépendante. Il n'est donc pas possible de prédire les valeurs de TDS en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui sépare les points. Cette indépendance spatiale à l'échelle globale observée est confirmée la statistique de Général G dont le Z score est égale à -1,659542. Que deviennent les tendances en saison pluvieuse ?

La figure 10 de la planche 3 présente les distributions des valeurs de TDS dans le milieu d'étude en saison pluvieuse. De l'analyse de carte de la figure 8, on note également que l'ellipse de déviation standard couvre 8 points d'observation sur 14 soit 57,1% de la distribution. Ces statistiques indiquent une orientation dans la distribution spatiale des valeurs de TDS en saison pluvieuse qui est toujours étirée dans la direction nord/sud.

➤ Cas de la turbidité

La figure 11 présente à travers deux histogrammes les moyennes saisonnières de la turbidité. L'analyse des données de celle-ci révèle une p-value inférieure à 0,05 traduisant une différence significative entre la moyenne des valeurs de turbidité de la saison sèche et de la saison pluvieuse. Les valeurs prise par les écart-types sont très petites et permettent de dire sans risque de se trouver que les moyennes de chacune des saisons sont représentatives des séries et peuvent servir de base d'analyse et de discussion. La moyenne de la turbidité est plus élevée en saisons pluvieuse qu'en saison sèche. Ce constat peut s'expliquer par deux phénomènes à savoir les apports des eaux de ruissellement qui ont lessivé plusieurs aires culturales et/ou la remise en suspension des sédiments en saison pluvieuse du fait de la turbulence des eaux du lac.

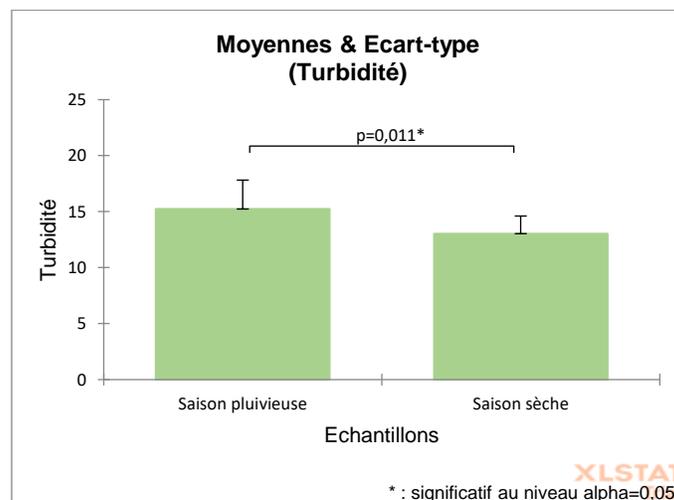


Figure 11 : comparaison des moyennes saisonnières de turbidité

La planche 4 montre les distributions des valeurs de turbidité dans le milieu d'étude en aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse. De l'analyse de cette planche, on constate que l'ellipse de direction est étirée dans sur l'axe nord/sud quelle que soit la saison. Cette observation nous amène à déduire l'existence d'une direction dans la distribution des valeurs de la turbidité. Ce qui permet de soupçonner une dépendance spatiale des valeurs de turbidité. Le calcul de l'indice d'autocorrélation spatiale effectué sur les 14 points de collecte présente des indices de Moran proche de 0, ce qui amène à conclure que la réalisation de la variable aléatoire régionalisée est donc indépendante aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Il n'est donc pas possible de prédire les valeurs de la turbidité en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui les sépare.

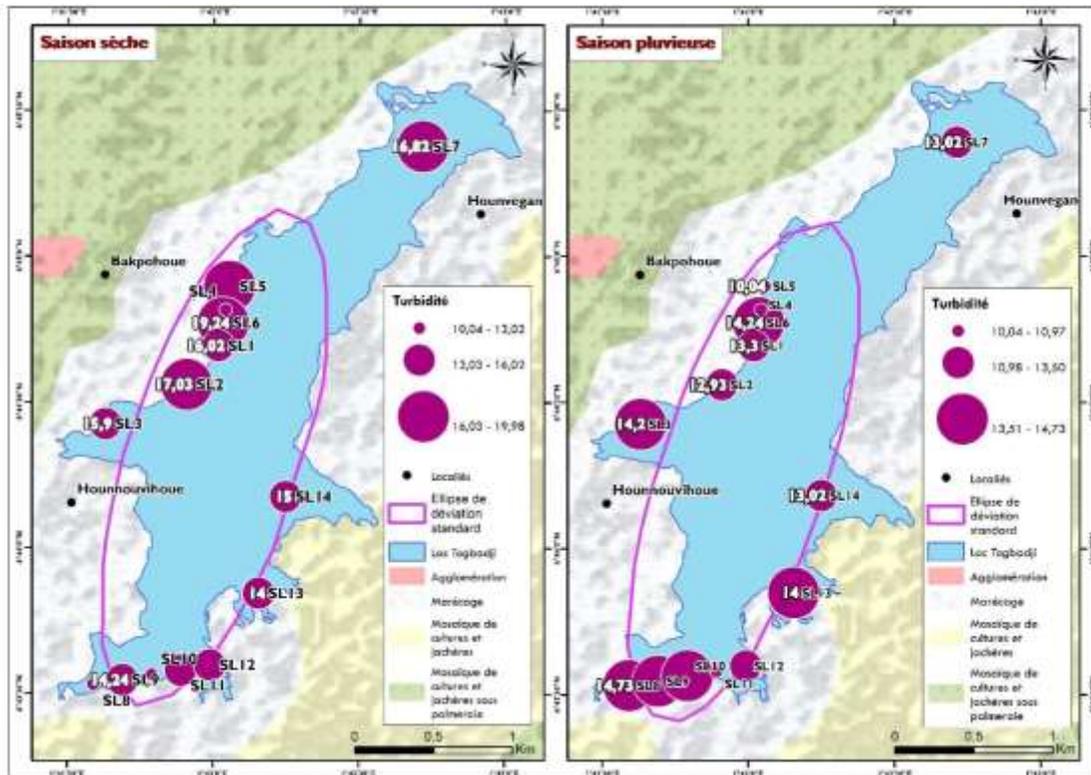


Figure 12 : distribution de la turbidité en saison sèche

Figure 13 : distribution de la turbidité en saison pluvieuse

Planche 4 : Variation spatio-temporelle de la turbidité sur le lac Togbadji (Source : Présente étude)

➤ Cas des Matières en Suspension (MES)

La figure 14 présente la comparaison les moyennes saisonnières des teneurs en Matières en Suspension (MES). De l'analyse des histogrammes de cette figure, il ressort que la p-value est inférieure à 0,05 traduisant une différence significative entre les deux moyennes au de 5%. La distribution des données de MES enregistrées aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse est centrée autour de la moyenne. Les deux moyennes sont représentatives de leur série. La valeur moyenne des MES en saison pluvieuse est supérieure à celle de la saison sèche. Ce constat vient confirmer celui observé au niveau de la turbidité. Les mêmes causes occasionnant les mêmes effets, les explications sont similaires c'est-à-dire que la remise en suspension des sédiments de surface et les apports des eaux de ruissellement sont les principales causes de cette observation.

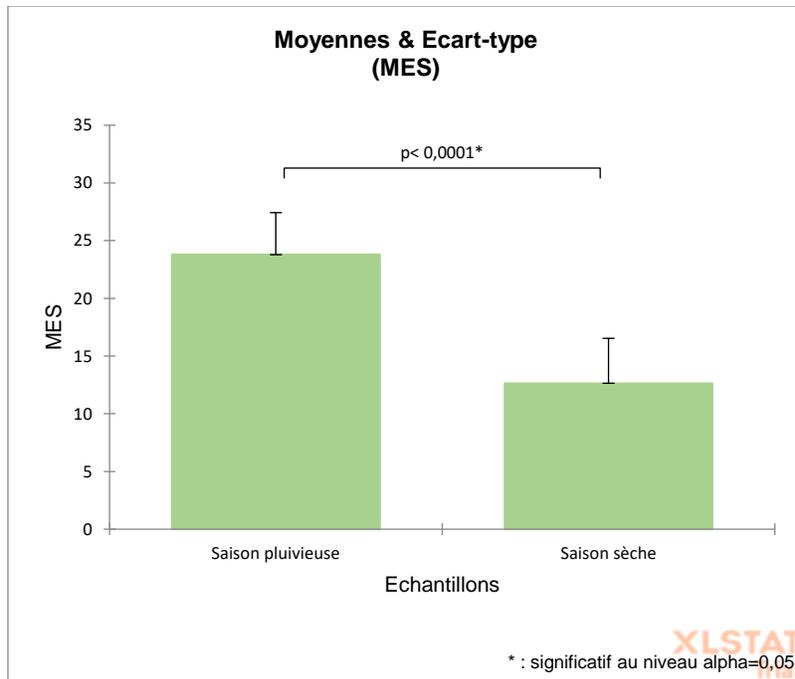


Figure 13 : comparaison des moyennes saisonnières de MES (Source : Présente étude)

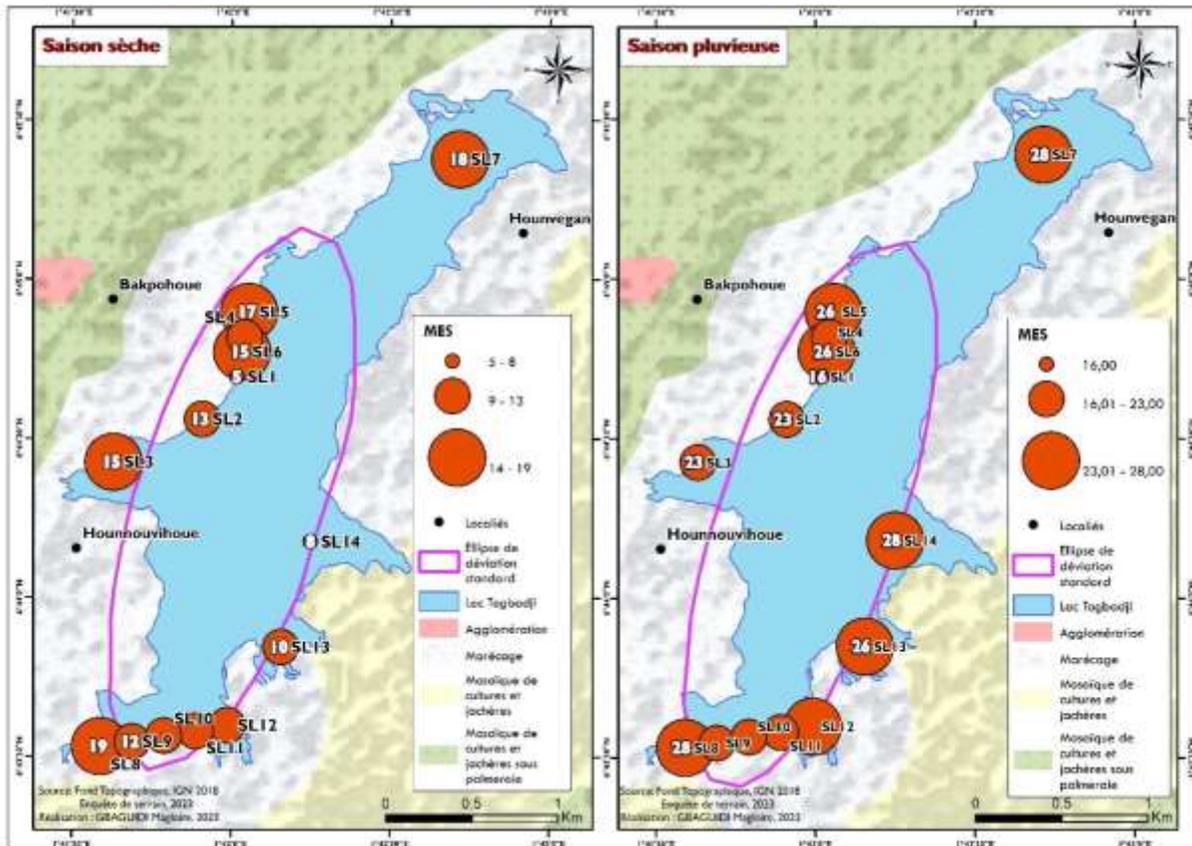


Figure 15 : distribution des teneurs en MES en saison sèche

Figure 16 : distribution des teneurs en MES en saison pluvieuse

Planche 5 : Variation spatio-temporelle des MES sur le lac Togbadji au cours des deux saisons (Source : Présente étude)

La planche 5 présente la distribution des teneurs en MES aussi bien en saisons sèche qu'en saison pluvieuse. L'analyse des informations des cartes de la planche 5 révèle une distribution orientée des valeurs de MES sur la direction nord/sud. Ce qui

permet de soupçonner une dépendance spatiale des valeurs de MES quelle que soit la saison. Mais, les tests l'autocorrélation spatiale de Moran confirmée par la statistique de Général G, ont révélé une absence d'autocorrélation spatiale globale aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse car les p-values sont toutes supérieures à $\alpha = 0,05$.

➤ *Cas de l'oxygène dissous :*

La figure 17 présente la comparaison des moyennes saisonnières des teneurs en oxygène dissous. Son analyse révèle une p-value supérieure à 0,05. Donc, il n'existe pas de différence significative entre les deux moyennes. Les %CV sont inférieures à 30%. Donc les moyennes sont représentatives des séries. D'où la teneur en oxygène dissous tourne autour de $5,5 \pm 1,1$ mg/L d'O₂.

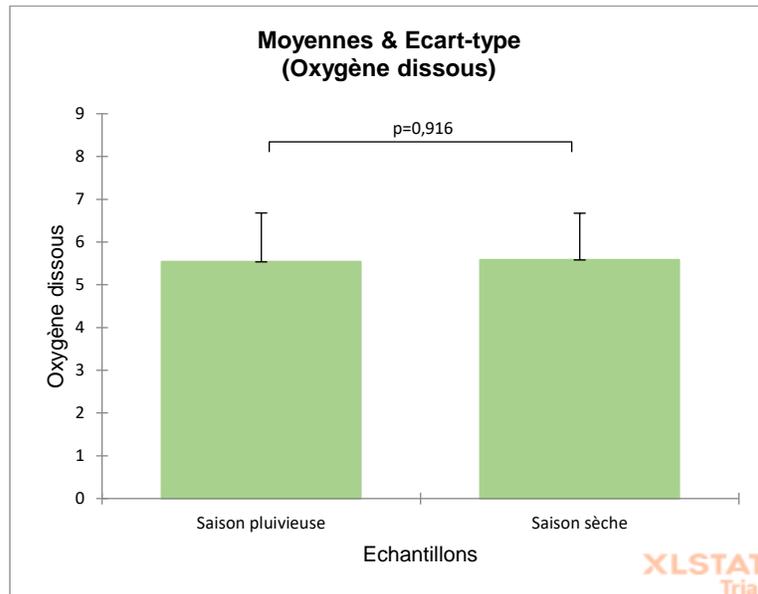


Figure 17 : comparaison des deux moyennes saisonnières de teneurs en oxygène dissous

La planche 6 présente la distribution des teneurs en oxygène dissous dans les eaux du lac Togbadji au cours des deux saisons de prélèvement.

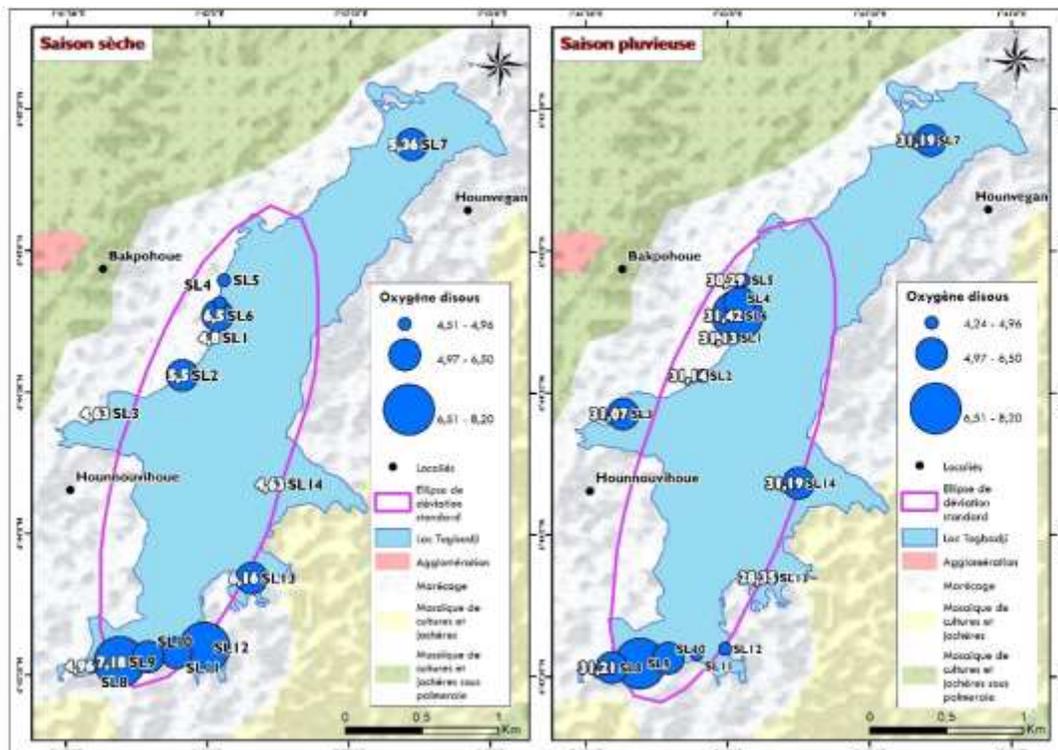


Figure 18 : distribution des teneurs en O ₂ dissous en saison sèche	Figure 19 : distribution des teneurs en O ₂ en saison pluvieuse
Planche 6 : Variation spatio-temporelle des teneurs en oxygène (O₂) dissous dans les eaux du lac Togbadji au cours des deux saisons (Source : Présente étude)	

De l'analyse des données des cartes de la planche 6, il ressort qu'il existe une distribution orientée nord/sud des teneurs en oxygène dissous en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Mais les tests d'autocorrélation spatiale de Moran et de Général G infirment l'inexistence d'autocorrélation globale sur les 14 point d'observation de la teneur en oxygène dissous dans la colonne d'eau du lac Togbadji aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

➤ Cas du potentiel Rédox (POR)

L'analyse des informations de la figure 20 révèle une p-value supérieure à 0,05 qui traduit une absence de différence significative entre les deux moyennes saisonnières. Les différents %CV sont inférieurs à 30%. Les deux informations réunies nous amènent à conclure que le Potentiel d'oxydo-Réduction (POR) dans les eaux du lac Togbadji tourne autour de 220,5±31,1 mV.

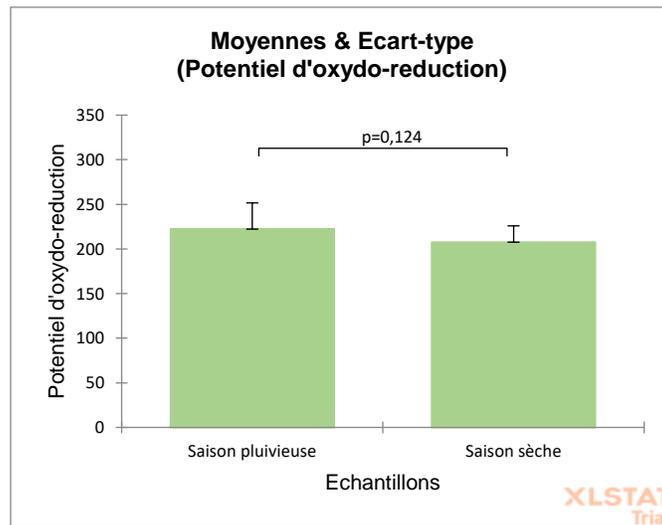


Figure 20 : comparaison des moyennes saisonnières des valeurs du Potentiel Rédox sur le lac Togbadji

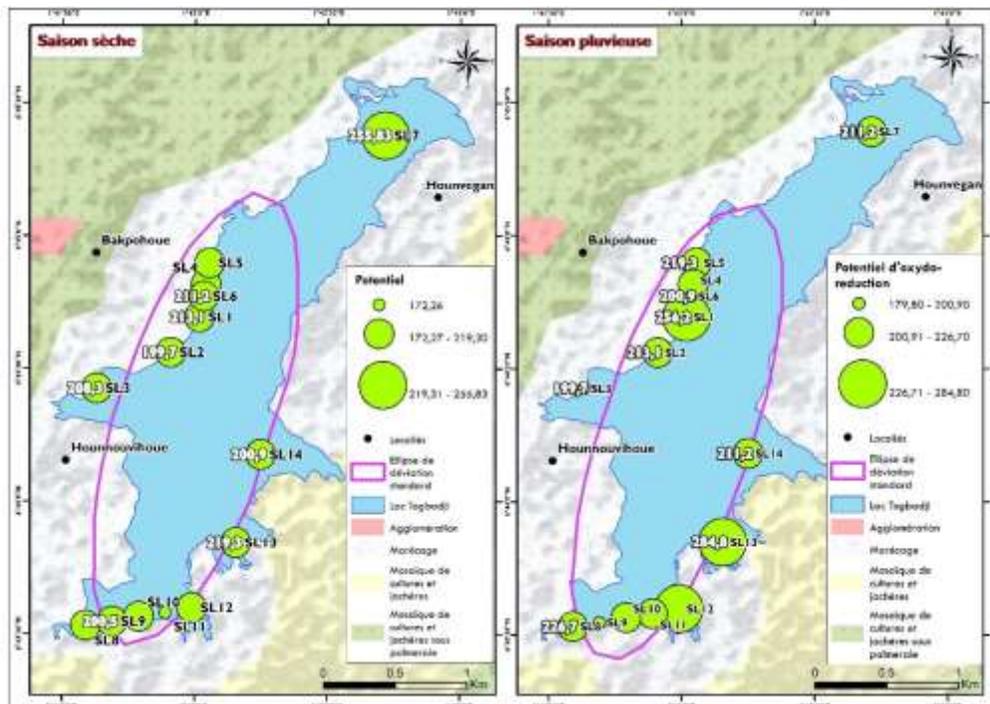


Figure 21 : distribution des valeurs du POR en saison sèche

Figure 22 : distribution des valeurs du POR en saison pluvieuse

Planche 7 : Variation spatio-temporelle des valeurs du POR dans les eaux du lac Togbadji au cours des deux saisons (Source : Présente étude)

La planche 7 présente la distribution des valeurs du Potentiel d'Oxydo-Réduction (POR) dans les eaux du lac Togbadji en saison sèche et en saison pluvieuse.

L'analyse des cartes de la planche 7 révèle une distribution nord/sud des valeurs de Potentiel d'Oxydo-Réduction (POR) aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les valeurs prises par les indices de Moran et du Général G ne confirment pas la présence d'autocorrélation spatiale globale entre les valeurs du Potentiel d'Oxydo-Réduction (POR) observées dans les eaux du lac Togbadji aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

4.2 Discussion

Les valeurs du pH sont comprises entre 6,7 et 7,4 avec une moyenne de $7,03 \pm 0,212$ et un coefficient de variation %CV de 3 en saison sèche contre des valeurs de pH comprises entre 5,5 et 8,05 avec une moyenne de $7,184 \pm 0,698$ et un coefficient de variation %CV de 9,7 en saison humide. Abahi et al., (2023) ont trouvé des valeurs moyennes de pH égales $8,80 \pm 0,5$ en saison sèche et $7,70 \pm 0,7$ en saison pluvieuse sur la rivière Klou un cours d'eau sous emprise des rejets industriels. Nos valeurs moyennes de pH saisonnières sur le lac Togbadji sont plus proches de la neutralité que celle de la rivière Klou. Ces différences seraient dues aux rejets industriels car, si Togbadji est sous emprise anthropique contrairement à Klou, il ne constitue pas un milieu récepteur d'un quelconque rejet industriel. Au niveau de la turbidité on note des variations comprises entre 10 et 20 NTU avec une moyenne saisonnière de $15,23 \pm 2,49$ NTU et un %CV = 16,3 en saison sèche contre des valeurs de turbidité comprises entre 10,04 et 14,73 NTU avec une moyenne saisonnière de $13,034 \pm 1,516$ NTU et un %CV = 11,6 en saison pluvieuse. Nos valeurs de turbidité sont largement inférieures à celles enregistrées par Alia (2018) sur les eaux de l'Oued Amsal en Algérie dont les valeurs varient entre $51,8 \pm 1,131$ et $52,5 \pm 1,272$ NTU. Ces fortes turbidités sont généralement dues aux rejets industriels et/ou aux eaux de ruissellement et la nature des sols des bassins-versants des milieux récepteurs. En saison sèche les Solides Totaux Dissous (TDS) varient de 67,8 à 72,3 mg/L avec une moyenne de $69,54 \pm 1,37$ mg/L. Le coefficient de variation %CV est de 2. Par contre en saison humide, les Solides Totaux Dissous (TDS) oscillent entre 81 et 84 mg/L avec une moyenne de $83,3 \pm 0,95$ mg/L. Nos valeurs de TDS observées sur le lac Togbadji sont très inférieures à celles de Merhabi et al., (2018) qui ont trouvé des valeurs de TDS Les valeurs du TDS qui varient entre 250 mg/L et 850 mg/L en saison sèche, et entre 217 mg/L et 633 mg/L en saison humide sur la rivière Kadicha au Liban. Plusieurs facteurs permettent de justifier un tel écart dont les origines des eaux et leurs parcours dans l'environnement. En ce qui concerne la température, elle varie de 29,9 à 31,72°C avec une moyenne de $30,6 \pm 0,76$ °C et un %CV de 2,5 en saison sèche contre des variations comprises entre 28,35 et 31,42°C avec une moyenne de $30,54 \pm 0,84$ °C et un %CV de 2,8 en saison pluvieuse. Nos valeurs de température sont comparables à celles trouvées par Mèhounou et al., (2016) qui ont trouvé des valeurs variant entre 27,7°C et 31,5°C dans les ressources en eau superficielle dans la commune d'Aplahoué proche de notre zone d'étude. Par contre Singa et al., (2019) ont trouvé des valeurs plus faibles comprises entre 20 et 25°C dans les eaux de la rivière Lindi dans la ville de Kisangani au Congo. Cette différence de températures des eaux naturelles serait due aux conditions climatiques locales. La teneur en oxygène dissous oscille entre 4,51 et 8,2 mg/L avec une moyenne de $5,6 \pm 1,05$ mg/L et un %CV = 18,9 en saison sèche. Alors qu'en saison pluvieuse on note des teneurs en oxygène dissous comprises entre 4,24 et 8,2 mg/L avec une moyenne de $5,5 \pm 1,12$ mg/L et un %CV = 19,9. Nos valeurs moyennes saisonnières en oxygène dissous sont inférieures à celles obtenues par Kambiré et al., (2014) sur la lagune Aby en Côte d'Ivoire dont les moyennes observées sont respectivement de $6,43 \pm 1,66$ mg/L en saison pluvieuse et $5,74 \pm 1,59$ mg/L en saison sèche. La teneur des eaux naturelle en oxygène dissous est influencée par la température des ressources en eau, la pression partielle de l'oxygène à la surface des eaux, la profondeur de la zone euphotique et la riche du plan ou du cours d'eau en algues photosynthétiques. Le potentiel d'oxydo-réduction (POR) en saison sèche varie entre 172,3 et 255,8 mV avec une moyenne de $207,63 \pm 17,57$ mV et un %CV de 8,5. Pendant qu'en saison pluvieuse, le potentiel d'oxydo-réduction (POR) varie de 179,8 à 284,8 mV avec une moyenne de $222,3 \pm 28,26$ mV et un %CV de 12,7. Ces valeurs de potentiel d'oxydoréduction dans le lac Togbadji sont très faibles. Au temps opportun, les valeurs doivent tournées autour de 400 mV. Au niveau des Matières en Suspension (MES), elles varient de 16 à 28 mg/L avec une moyenne de $23,8 \pm 3,51$ mg/L et un %CV = 14,8 en saison pluvieuse contre des valeurs qui oscillent entre 5 et 19 mg/L avec une moyenne de $12,64 \pm 3,75$ mg/L et un %CV = 29. Akotègnon, (2022) a trouvé des valeurs extrêmes plus élevées atteignant 15188 mg/L sur la rivière Klou.

5. Conclusion

La présente étude nous a permis de faire la caractérisation physico-chimique du lac Togbadji et ses impacts sur la faune ichthyenne. De nos résultats on peut retenir qu'au total 7 paramètres physico-chimiques ont été suivis aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse au cours de la présente étude à savoir la température, le pH, les solides Totaux Dissous (TDS), l'Oxygène dissous, la turbidité, les Matières en Suspension (MES) et le Potentiel d'Oxydo-Réduction (POR). L'analyse des valeurs prises par ces paramètres révèle une distribution nord/sud des données aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les tests statistiques

d'autocorrélation spatiale de Moran et du Général G ne ressortent pas la présence d'autocorrélation spatiale globale entre les valeurs prises par les paramètres physico-chimiques de suivi de la qualité des eaux du lac Togbadji aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Il n'est donc pas possible de prédire les valeurs de paramètres physico-chimiques en un point, connaissant les valeurs observées en un autre point, en s'appuyant sur la distance qui les sépare. Seules les teneurs en Matières en Suspension (MES) connaissent des variations brutales statistiquement significative allant de 25 à 100% d'une saison à une autre capables de suspecter des perturbations sur la vie aquatique dans le milieu d'étude.

Declarations

Financement : cette recherche n'a reçu aucun financement externe

Conflits d'intérêts : les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts

References

- [1] Abahi K.S., Akodogbo H.H., Gouton R.R.T., Adje A.S.D.D., Gnohossou P.M. & Piscart C. (2023). Evaluation de l'Effet des Eaux Usées Industrielles sur la Qualité de l'Eau de la Rivière Klou au Centre du Bénin. *European Scientific Journal*, 19(3), 148. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n3p148>
- [2] Akotègnon K. C. (2022). Caractérisation des impacts environnementaux et sanitaires des effluents liquide de l'usine de fabrication d'alcool de Logozohè puis dimensionnement d'une station hybride de traitement. PhD thesis, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Ecole doctorale Sciences Exactes et Appliquées (EDSEA), p.282.
- [3] Alia A., Mekideche M. (2018). Etude physico-chimique et microbiologique des eaux de l'Oued Amsal (Ziama Mansouriah). Mémoire de master. Université Med-Seddik Benyahia-Jijel.
- [4] Azonsi F., Tossa A., Kpomasse M., Lanhoussi F., Zannou A., Gohoungossou A. (2008). Atlas hydrographique du Bénin : système de l'information sur l'hydrographie. Direction Générale de l'eau, Bénin, 22 p.
- [5] Batoul B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). PhD thesis, Université de Perpignan, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Mostaganem, Algérie). p.193.
- [6] Behra P., 2013. Chimie et environnement : Cours, Etudes de cas et exercices corrigés. Edition Dunod, Paris. p.1298 ISBN 978-2-10-056895-6
- [7] Degrémont, (2005). Memento technique de l'eau. L'eau et ses propriétés. Tome 1, 10^e édition. Edition Paris. p.880.
- [8] Gbaguidi, A. N. M., Youssao A. A. K., Saïzonou M. V. M. K., Singbo R. O. P., Dovonon L. F. C., Zannou A., Soclo H. H., Lauceleur L., Monperus M., Donald O. & Mama D. (2018). Application of Quechers extraction coupled with GC/MS for detection of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochloride Pesticides in Lake water. *International Journal of Chemistry*, 10(4): 68-82. DOI: [10.5539/ijc.v10n4p57](https://doi.org/10.5539/ijc.v10n4p57)
- [9] Houemenou G., Kassa B. & Libois R. (2014). Ecologie, diversité spécifique et abondance des petits mammifères de la ville de Cotonou au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(3): 1202-1213. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.31>
- [10] Kambiré O., Adingra A.A, Eblin S.G, Aka N., Kakou A.C. & Koffi-Nevry R. (2014). Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la côte d'Ivoire : la lagune Aby. *Larhyss Journal*, 20, 95-110
- [11] Kazi TG, MB Arain, MK Jamali, N. Jalbani, HI Afridi, RA Sarfraz, JA Baig, Abdul Q. S. (2009). Évaluation de la qualité de l'eau d'un lac pollué à l'aide de techniques statistiques multivariées : une étude de cas. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>
- [12] Lévi, Y. (2017). « Risques environnementaux et risques sanitaires liés à la contamination des eaux ». *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 86(2) : 62.
- [13] Mèhounou J. P., Josse R. G., Dossou-Yovo P., Senou S. F. & Toklo R. M. (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. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v103i1.6>
- [14] Merhabi F., Amine H. & Halwani J. (2019). Évaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha. *Lebanese Science Journal*, 20(1); 10-34. <http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-020.1.010-034>
- [15] Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009). Analyse de l'eau Rodier. 9^e édition. p.1579.
- [16] Singa N. I., Mendo F. W., Kasongo E., TSHINKOBO K., Baswengola M. & Malumba Z. K. (2019). Analyse physico-chimique et microbiologique des eaux de la rivière Lindi et son impact sur la vie des êtres vivants dans la ville. *Journal of Applied Science*, 5(2), 63-80.
- [17] Strobl RO & Robillard PD (2008). Conception de réseau pour la surveillance de la qualité de l'eau des eaux douces de surface : une revue. *Journal de gestion environnementale*, 90, 639-648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001>