

Hydrologie et qualité environnementale des eaux du lac du barrage hydroélectrique de Buyo en période de crue du fleuve Sassandra, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire

Laurent Kouassi ADOPO¹, Guy Serges KONAN^{1*}, Ronald Sosthène Désiré Yapi ATTO² et Sylvain MONDE¹

¹ *Université Felix Houphouët Boigny Abidjan Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

² *Université de Man, Département Mines et Réservoirs, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Géologiques et Minières, BP 20 Man, Man, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 25 Décembre 2022 ; Accepté le 02 Février 2023)

* Correspondance, courriel : guysergekonan1@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques des paramètres physico-chimiques des eaux du secteur aval du lac de Buyo en vue d'évaluer la qualité des eaux du milieu en période de crue du fleuve Sassandra. Pour ce faire, des prélèvements d'eaux et des mesures ont été effectués dans le lac en octobre 2020. Les mesures *in situ* ont montré que la température des eaux variait de 27,7 °C à 32,5 °C, et était liée principalement à l'ensoleillement. Les eaux étaient alcalines avec un pH moyen de 7,69 et présentaient une conductivité électrique assez faible 30-90 µS/cm. Ces eaux étaient relativement bien oxygénées en surface et désoxygénées 1,5 - 6 mg/L en profondeur, en saison pluvieuse. Par contre la concentration moyenne en matières en suspension (MES) a été de 6,7 mg/L et la transparence de 1,51 m a montré que les eaux du lac ont été relativement peu chargées. Les valeurs moyennes en éléments nutritifs, NH₄⁺ et NO₃⁻ respectivement de 0,04 mg/L et 1,46 mg/L ont été conformes à la directive de l'OMS pour les eaux destinées à la production d'eau potable. Toutefois, le secteur aval du lac de Buyo est classé parmi les lacs à caractère eutrophe.

Mots-clés : *paramètres physico-chimiques, lac de Buyo, trophique, qualité environnementale.*

Abstract

Spatial and temporal evolution of physico-chemical parameters and environmental quality of the lake water of the Buyo hydroelectric dam during flooding of the Sassandra River, South-West of Ivory Coast

The objective of this study is to determine the characteristics of the physico-chemical parameters of the waters of the downstream sector of Lake Buyo in order to assess the quality of the waters in the environment during periods of flooding of the Sassandra River. To do this, water samples and measurements were taken in the lake in October 2020. The measurements showed that the water temperature varies from 27.7°C to 32.5°C,

and is linked mainly in sunlight. The waters are alkaline (average pH of 7.69) and have a fairly low electrical conductivity (30 - 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$). These waters are relatively well oxygenated on the surface and deoxygenated (1.5 – 6 mg/L) at depth during the rainy season. On the other hand, the average concentration of suspended solids (6.7 mg/L) and transparency (1.51 m) shows that the waters of the lake are relatively lightly loaded. The average nutrient values, NH_4^+ and NO_3^- respectively of 0.04 mg/L and 1.46 mg/L comply with the WHO guideline for water intended for the production of drinking water. However, the downstream sector of Lake Buyo is classified as a eutrophic lake.

Keywords : *physico-chemical parameters, Lake Buyo, trophic, environmental quality.*

1. Introduction

Les barrages revêtent une place essentielle au cœur de toute stratégie nationale de gestion des ressources en eau et en énergie, tout particulièrement dans les pays confrontés à des incertitudes d'approvisionnement en eau, tels que les pays d'Afrique de l'Ouest. En effet, les barrages hydroélectriques sont construits afin de répondre à une ou plusieurs fonctions notamment la production d'électricité, l'irrigation et l'alimentation en eau. La Côte d'Ivoire possède un vaste réseau hydrographique avec sept (7) importants barrages hydroélectriques (Ayamé 1, Ayamé 2, Kossou, Taabo, Buyo, Fayé et Soubré). Les retenues d'eau des barrages de Côte d'Ivoire ont fait l'objet de plusieurs études de caractérisation hydrologique, physico-chimique et biologique [1 - 5]. Cependant, les problèmes de pollution des eaux auxquels ces retenues d'eau peuvent être confrontées restent d'actualité. Le lac de Buyo, sur lequel porte notre présente étude, n'échappe pas aux problèmes de pollution. En effet, le lac ayant pour vocation première la production d'électricité est confronté à une pollution d'origine agricole [6]. Les agriculteurs pour accroître leur production agricole utilisent couramment des fertilisants et des pesticides [6]. Les phénomènes de lessivage et d'érosion des sols qui s'en sont suivis, ont provoqué des pertes de nutriments et de pesticides vers le réseau hydrographique [7]. Cela affecte la qualité des eaux de brutes et entraîne des troubles sanitaires (diarrhées, vomissements, méthémoglobinémie, etc.) [8]. En outre, l'eutrophisation du lac de Buyo a été mise en évidence avec des concentrations de phosphore allant de 250 à 300 $\mu\text{g}/\text{L}$ [4]. Cependant, les études hydrologiques sur le lac de Buyo permettant d'acquérir des données scientifiques actualisées doivent couramment être réalisées pour la mise en place de programme de surveillance de la qualité de la ressource en eau. C'est dans ce cadre que la présente étude vise à déterminer les caractéristiques des paramètres physico-chimiques du secteur aval du lac de Buyo en vue d'évaluer la qualité des eaux du milieu en période de crue du fleuve Sassandra.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le lac de Buyo, qui est la zone d'étude est localisé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire dans la ville de Buyo. Il appartient au département de Soubré, dans la région de la Nawa à 513 Km d'Abidjan (capitale économique). Le lac se situe entre les latitudes $6^{\circ}10'00''$ N et $6^{\circ}20'00''$ N et les longitudes $7^{\circ}00'0''$ W et $7^{\circ}10'0''$ W avec une superficie de 920 km^2 (*Figure 1*). Le réservoir d'eau, objet d'investigation est le secteur aval du lac de Buyo. La zone Buyo, correspondant à la zone du réservoir créée par les installations hydroélectriques de la Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE). Le régime des eaux du lac est sous la dépendance des pluies. Le niveau atteint par les basses et hautes eaux dépend essentiellement des apports des fleuves N'Zo et Sassandra. La pluviométrie annuelle est comprise entre 1250 et 1643 mm.

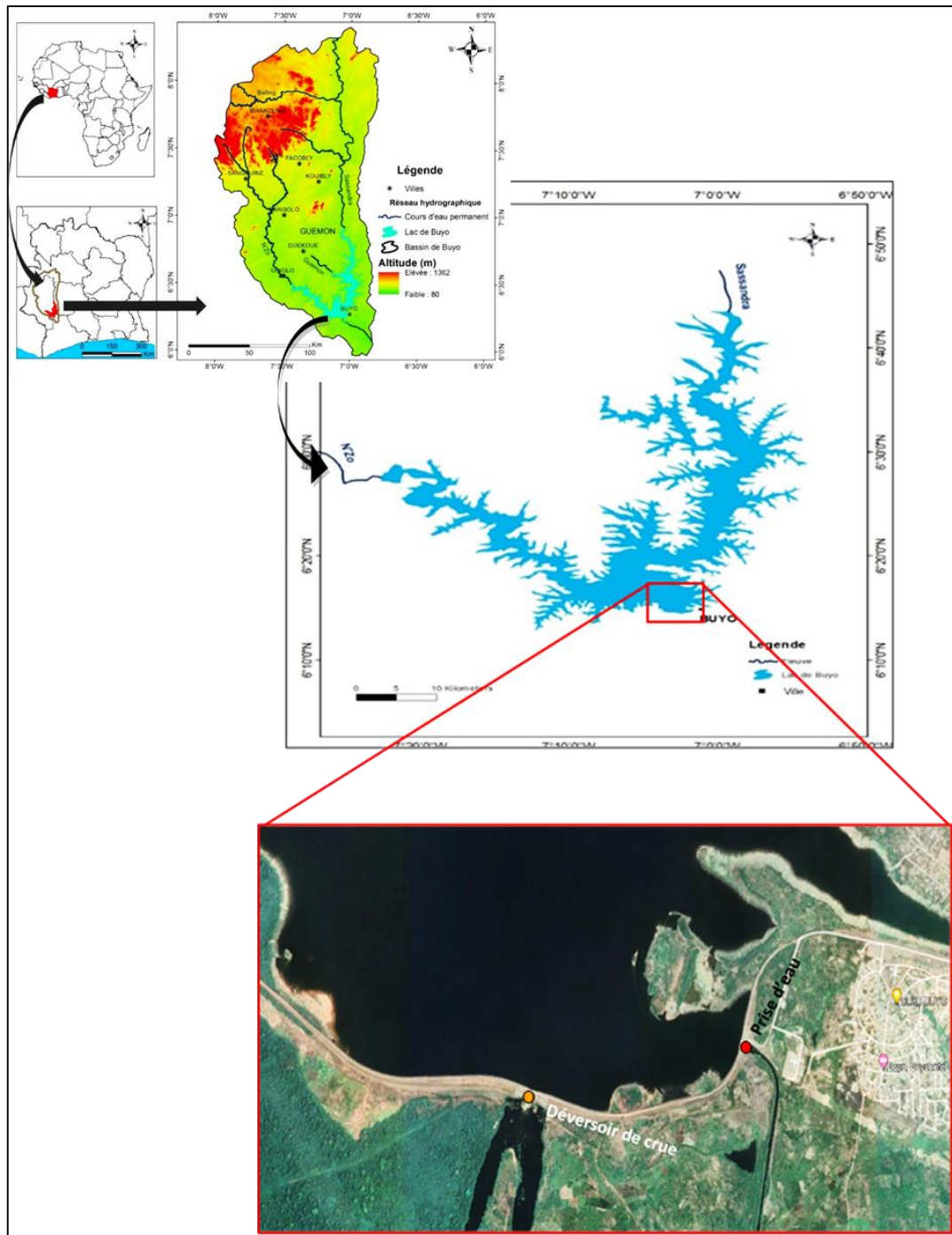


Figure 1 : Localisation géographique du Lac Buyo : la zone d'investigation

2-2. Matériel d'analyse des paramètres physico- chimiques

L'échantillonnage des paramètres physico-chimiques s'est réalisé sur huit (8) stations au cours de la saison pluvieuse (octobre 2020), correspondante à la période de crue du fleuve Sassandra. Ces échantillonnages ont été fait en surface puis dans la colonne d'eau sur chaque station (*Figure 2*). Le matériel utilisé sur le terrain se compose essentiellement d'un multiparamètre de type METTLER TOLEDO, un GPS et un disque de Secchi. Composé d'une sonde et d'un écran, le multiparamètre a servi à la mesure in situ des paramètres physicochimiques (pH, Température, Oxygène dissous, Conductivité). Le GPS a été utilisé pour localiser les stations d'échantillonnage. Quant au disque de Secchi, il a permis la mesure de la transparence.

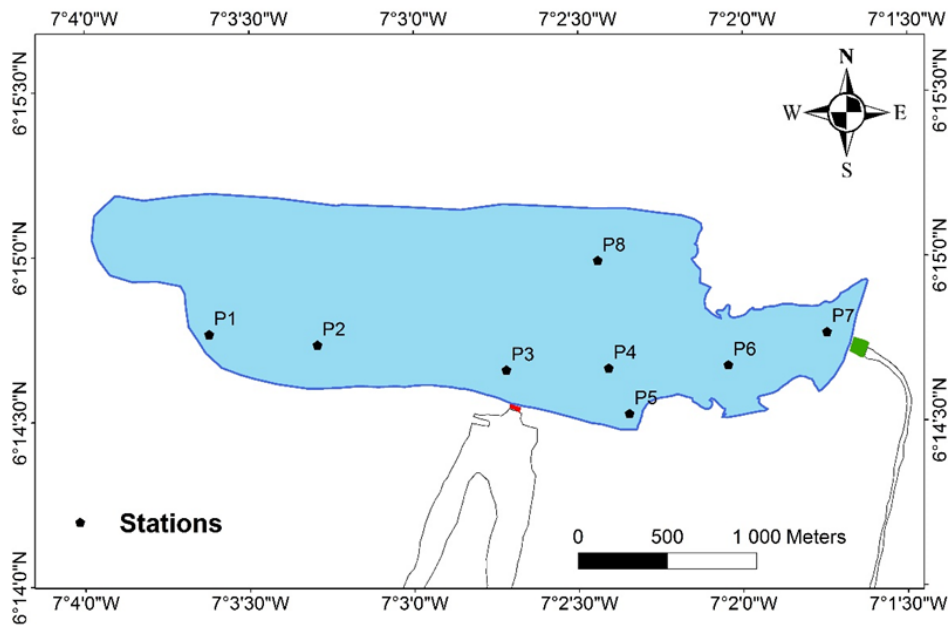


Figure 2 : Carte des points de prélèvement

2-3. Méthodes

2-3-1. Acquisition des données physico-chimiques

Pour la mesure de ces paramètres (pH, Température, Oxygène dissous, Conductivité, Turbidité) sur le terrain, un calibrage du multiparamètre a été réalisé depuis l'embarcation suivi de sa mise dans l'eau à chaque station d'échantillonnage. Les valeurs obtenues se sont affichées à l'écran où elles ont été soigneusement relevées par l'opérateur. Pour la mesure de la transparence, le principe a consisté à descendre le disque de Secchi dans l'eau à l'aide d'une corde graduée jusqu'à sa disparition. La hauteur d'eau à partir de laquelle le disque n'est plus visible par l'opérateur est noté en mètre (m). Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par filtration sur membrane (microfibre de type wattman GF/C). Le dosage des sels nutritif s'est fait à l'aide d'un spectromètre de masse DR 6000, plus respectivement par la méthode HACH 8155 aux silicates et la méthode HACH 8171 de réduction au Cadmium.

2-3-2. Elaboration des cartes de répartition

Le logiciel ArcGIS a servi à réaliser les cartes de répartition spatiale des différents paramètres physico-chimiques. L'élaboration des cartes de répartition résumait en deux (02) phases. La première phase a consisté à élaborer avec le tableur Excel, un fichier CVS de données numériques des différents paramètres physico-chimiques pour chaque station avec les données prélevées sur le terrain. A ce fichier, il a été ajouté le contour réalisé sur Google Earth. La seconde phase a consisté à sortir les cartes de répartition spatiale des différents paramètres en faisant une interpolation. La méthode d'interpolation utilisée est l'Inverse Distance Weighted (IDW).

2-3-3. Corrélation des paramètres physicochimiques par analyse en composante principale

Les données collectées lors de la campagne d'échantillonnage ont été soumises à des analyses statistiques avec le logiciel Statistica 7.1 pour une meilleure interprétation des résultats. L'analyse en composante principale (ACP) qui est un outil exploratoire, a consisté à chercher des combinaisons linéaires des variables quantitatives en vue de former des axes factoriels afin de détecter les individus ressemblants, ensuite de mettre en évidence une typologie d'individus et enfin de détecter les relations entre les différentes variables.

2-3-4. Évaluation de la qualité environnementale

Les recommandations pour la qualité des eaux de boisson de l'Organisation Mondiale pour la Santé préconisent comme valeurs guides 50 mg/L pour les nitrates, 0,1 mg/L pour les nitrites et 1,5 mg/L pour l'ammonium [9]. Les teneurs en nitrates, nitrites et en ammonium ont été comparées à ces teneurs pour apprécier la qualité des eaux. La qualité environnementale a été évaluée comparativement aux normes de la [10, 11].

3. Résultats

3-1. Variabilité spatio-temporelle et évolution dans la profondeur des paramètres physico-chimiques des eaux du lac de Buyo

3-1-1. Évolution de la température du lac

La répartition spatiale de la température a montré des fluctuations irrégulières de l'amont vers l'aval de la retenue d'eau avec des valeurs qui ont oscillé entre 27,7°C (température minimale) et 32,5°C (température maximale) avec une température moyenne de 30,03°C, en période de crue (**Figure 3**). La carte thématique de la température montrait une prédominance des valeurs de température comprise entre (29,7 - 30,6°C). Les fortes valeurs sont localisées au Nord-Est. La température des eaux de surface diminuait progressivement du Nord vers le Sud pour atteindre les valeurs les plus faibles du côté du déversoir de crue du lac. De façon générale, les températures diminuaient avec la profondeur et variaient sensiblement dans la colonne d'eau indiquant la présence d'une stratification thermique (**Figure 4**).

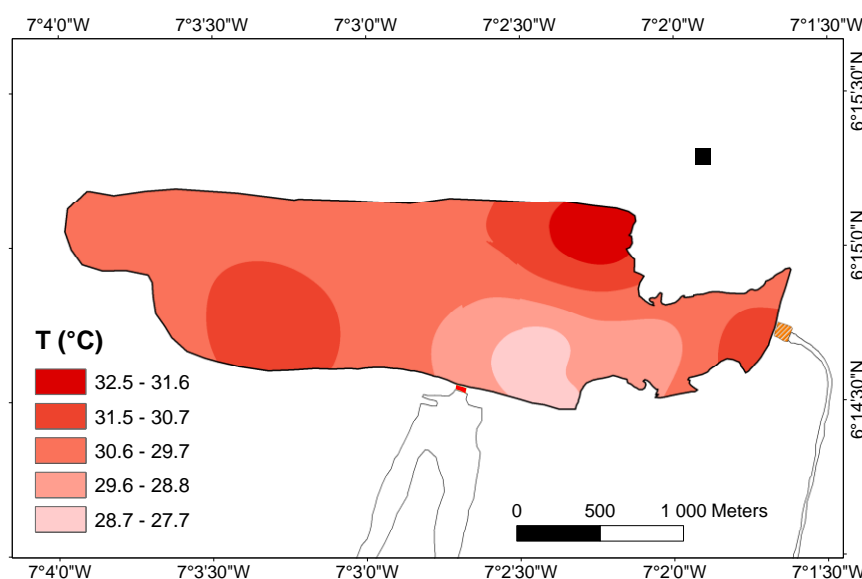


Figure 3 : Répartition spatiale de la température dans le lac de Buyo en période de crue

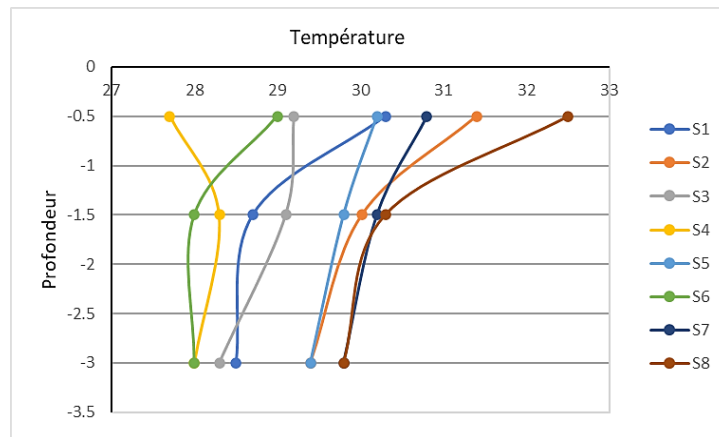


Figure 4 : Évolution de la température dans la colonne d'eau

3-1-2. Évolution du pH du lac

La répartition du pH a montré des fluctuations irrégulières d'amont en aval du lac. Les valeurs de pH observées dépassaient 7. Les valeurs superficielles de pH varient de 7 à 8,2 avec une moyenne de 7,7 en période de crue (Figure 5). La carte thématique du pH montrait la prédominance des valeurs comprises entre 7,7 et 8,2. Par ailleurs, cette basicité décroissait du Nord vers le Sud. Les fortes valeurs de pH (7,7 - 8,2) sont localisées au Nord, au centre puis du côté du déversoir et de la prise d'eau. Les faibles valeurs se situaient au Sud-Ouest de la retenue d'eau. Les valeurs de pH de 0,5 m à 3 m de profondeur observées variaient de 6,4 à 8,23 avec une moyenne de 7,69 et un écart-type moyen de 0,16 (Figure 6). De manière générale, les pH des eaux superficielles étaient alcalins et la basicité augmentait avec la profondeur, à l'exception des eaux des stations 8, 7 et 3, dont le pH augmentait jusqu'à 1,5 m puis diminuait progressivement à 3 m de profondeur, ainsi que les eaux de la station 2 qui présentaient des valeurs de pH qui diminuaient avec la profondeur. L'augmentation de la basicité des eaux en fonction de la profondeur était plus remarquable à la station 1 où l'amplitude entre le pH à la surface et le pH au fond était de 0,73.

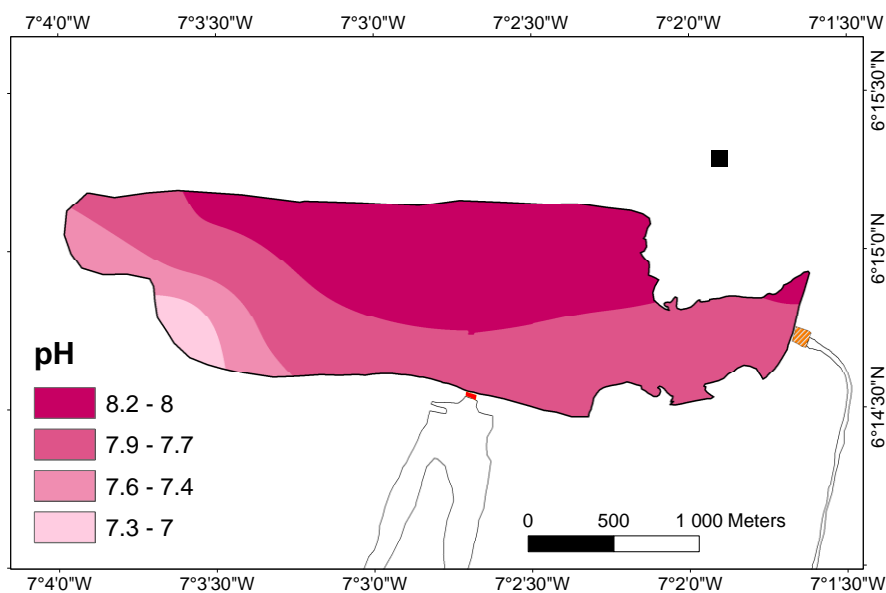


Figure 5 : Répartition spatiale du pH dans le lac de Buyo en période de crue

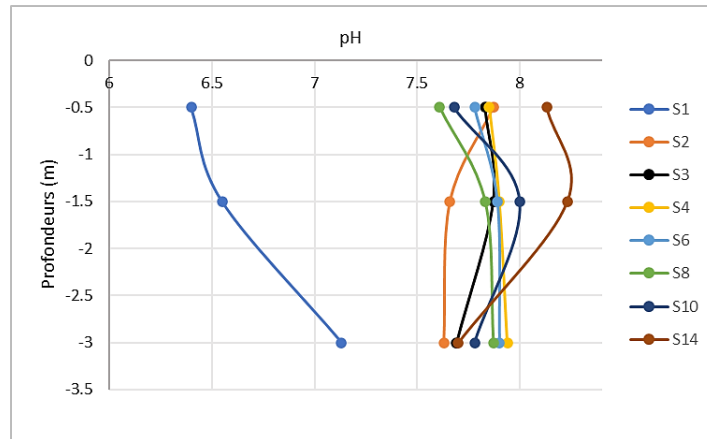


Figure 6 : Évolution du pH dans la colonne d'eau

3-1-3. Distribution de la conductivité des eaux du lac

La répartition spatiale de la conductivité des eaux révélait une inégale distribution des mesures sur toute la surface du plan d'eau. En période de crue, la conductivité variait entre 29,9 et 70 $\mu\text{s/cm}$, avec une moyenne de 54,66 $\mu\text{s/cm}$. La carte thématique relative à la conductivité montrait une prédominance des valeurs comprises entre 29,9 et 53,9 $\mu\text{s/cm}$. Les fortes valeurs se localisaient du côté de la prise d'eau, du déversoir de crue et du côté Sud-Ouest du lac. La minéralisation des eaux du lac croissait du Nord vers le Sud de la retenue (Figure 7). En général, la distribution verticale de la conductivité présentait un gradient vertical positif (Figure 8). Cette augmentation était remarquable à la station 8 où l'amplitude entre la conductivité des eaux du fond et celles de surface était, en moyenne, de 7,63 $\mu\text{S/cm}$.

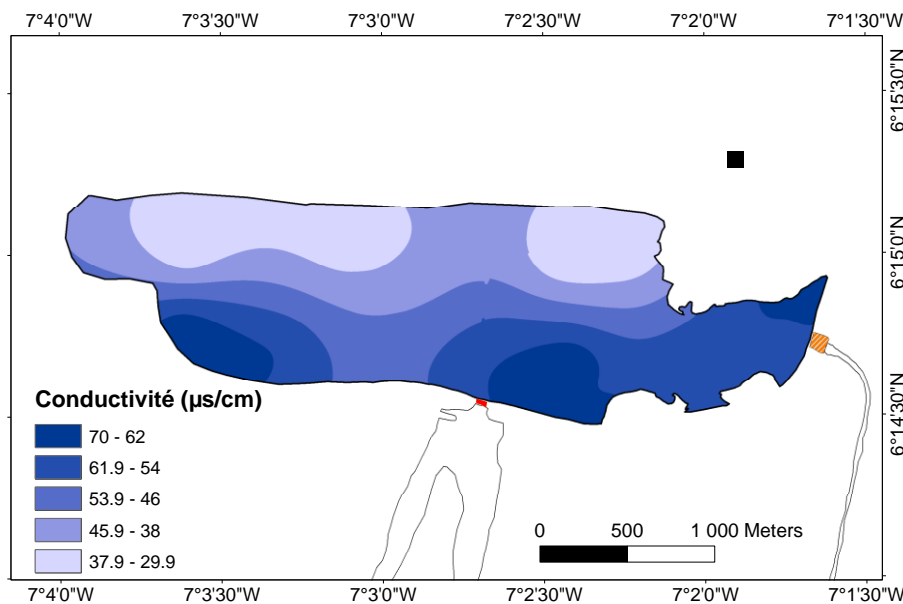


Figure 7 : Répartition spatiale de la conductivité dans le lac de Buyo en période de crue

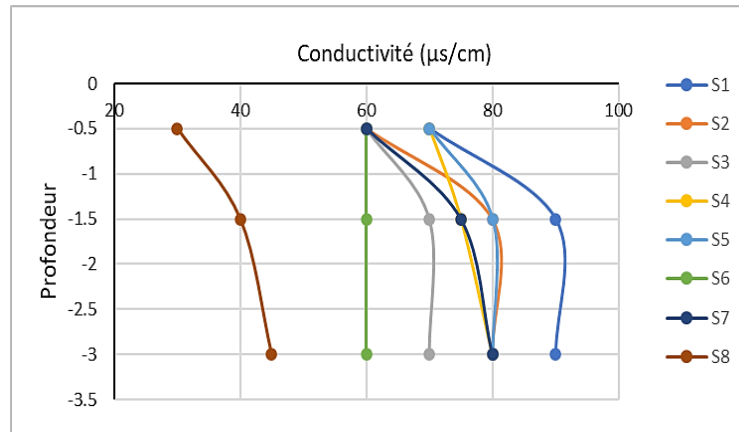


Figure 8 : Évolution de la conductivité dans la colonne d'eau

3-1-4. Répartition de la teneur en oxygène dissous des eaux du lac

La carte thématique de l'oxygène dissous, en période de crue était caractérisée par une répartition hétérogène avec dominance des valeurs comprises entre (3,4 - 4,7 mg/L). La teneur en Oxygène dissous, variait entre 2 et 6 mg/L avec une moyenne de 4,75 mg/L (Figure 9). Les faibles teneurs en oxygène dissous (2 - 3,3 mg/L) se situaient au voisinage de la prise d'eau et les fortes teneurs d'OD (4,8 - 6 mg/L) se localisaient à la fois au Sud Est à l'entrée du canal d'amenée et au Sud-Ouest de la retenue. Dans la colonne d'eau, la concentration en O_2 dissous diminuait avec la profondeur aux différentes stations (Figure 10). Les eaux des couches supérieures étaient mieux oxygénées que celles du fond. Pour une concentration de 6 mg/L d'oxygène dissous à la surface, nous observions une diminution de la valeur à 4 mg/L en profondeur (station 4).

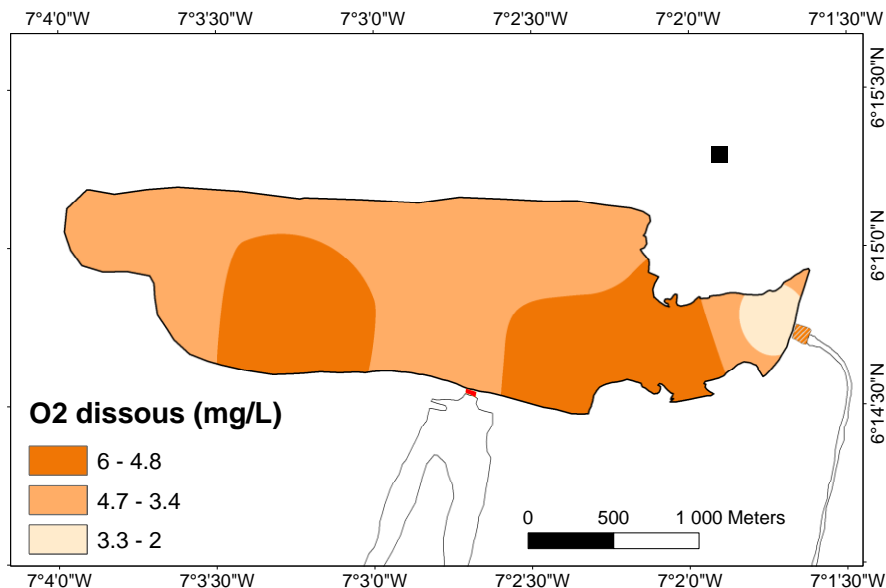


Figure 9 : Répartition spatiale de l'oxygène dissous dans le lac de Buyo en période de crue

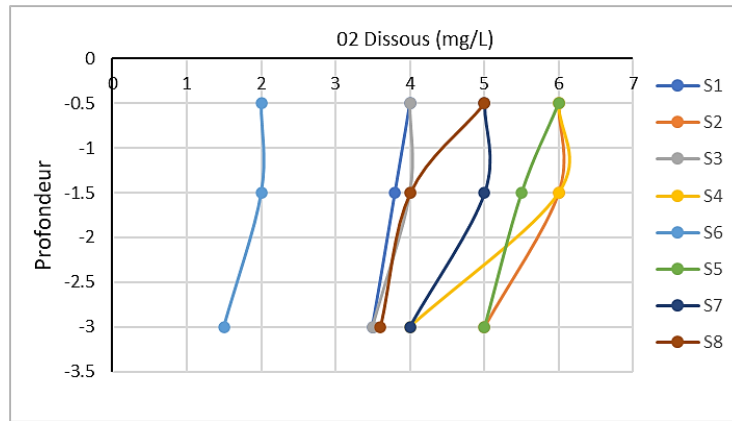


Figure 10 : *Évolution de l'oxygène dissous dans la colonne d'eau*

3-1-5. Répartition des matières en suspension (MES) des eaux du lac

La carte de répartition des matières en suspension, en saison pluvieuse indiquait une répartition hétérogène. Les valeurs variaient entre 2 et 8 mg/L, avec une moyenne de 5 mg/L (**Figure 11**). La répartition de ces valeurs montrait que les eaux les plus chargées en MES étaient celles prélevées dans la zone Est du plan d'eau. Les faibles teneurs, comprises entre 2 et 4 mg/L se localisaient à l'Ouest de la retenue. La transparence de l'eau au cours de la crue oscillait entre 1,3 et 1,8 m, pour une moyenne de 1,51 m. Dans le lac, l'évolution des MES présentait globalement un gradient vertical positif dans la colonne d'eau (**Figure 12**). De la surface à 3 m de profondeur, la concentration en MES a connu une augmentation. Cela était remarquable à la station 8 où la valeur en surface et au fond étaient respectivement 4 mg/L et 12 mg/L. Cette variation pourrait être liée aux courant de fond (underflow).

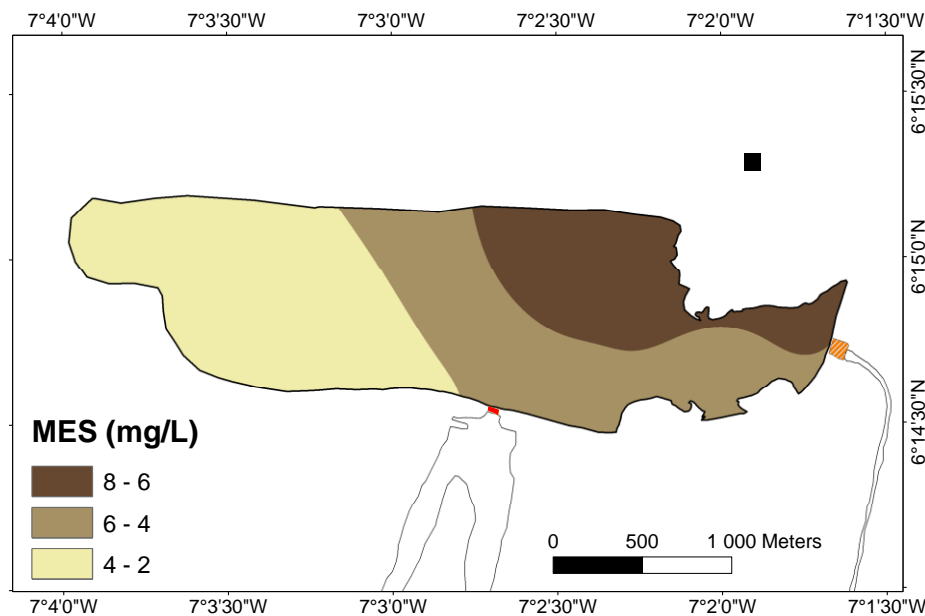


Figure 11 : *Répartition spatiale des MES dans le lac de Bujo en période de crue*

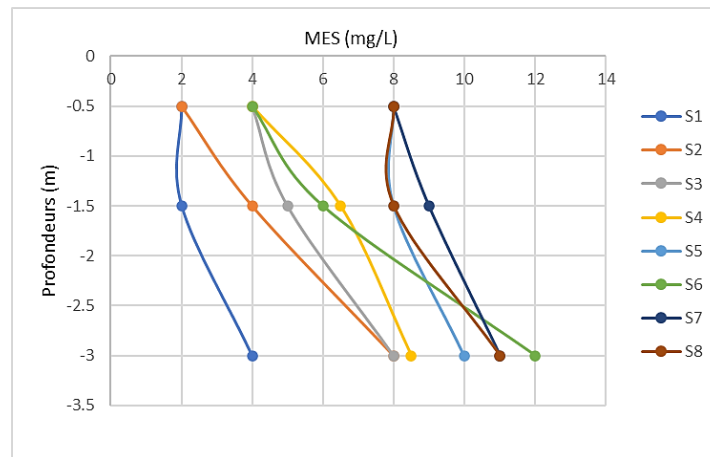


Figure 12 : Évolution des MES dans la colonne d'eau

3-1-6. Répartition de l'azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux du lac

La carte thématique de l'ammonium révélait une répartition presque homogène avec dominance des teneurs comprises entre 0,004 et 0,033 mg/L, en période de crue. Les teneurs en NH_4^+ variaient entre 0,004 mg/L et 0,09 mg/L avec une moyenne de 0,02 mg/L. Les fortes teneurs en ion ammonium (0,034 - 0,09 mg/L) se situaient par endroit sur l'axe principal de la prise d'eau (Figure 13). D'une façon générale, les teneurs de NH_4^+ augmentaient de la surface à 1,5 m dans la colonne d'eau et diminuaient progressivement jusqu'à 3 m de profondeur sauf au niveau des stations 2, 7 et 8 où on observait une augmentation nette de la teneur en NH_4^+ selon la profondeur (Figure 14).

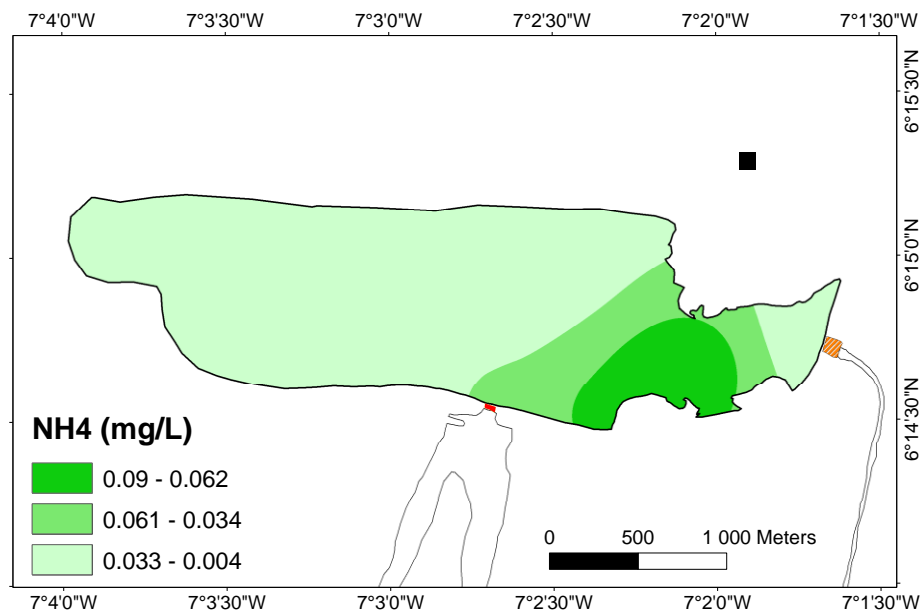


Figure 13 : Répartition spatiale de l'ammonium NH_4^+ dans le lac de Buyo en période de crue

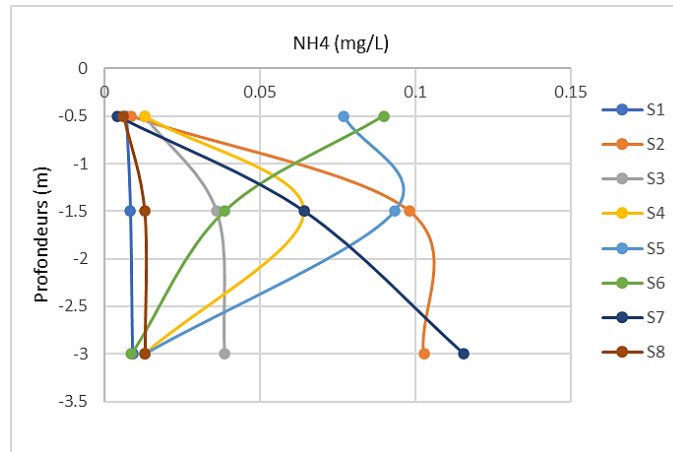


Figure 14 : Évolution de l'ammonium NH_4^+ dans la colonne d'eau

3-1-7. Répartition des nitrates (NO_3^-) des eaux du lac

La carte thématique du nitrate présentait des fluctuations hétérogènes dans le plan d'eau. Les valeurs variaient entre 0,25 et 1,33 mg/L avec une moyenne de 0,58 mg/L. La distribution spatiale du nitrate en période de crue montrait la prédominance des teneurs comprises entre 0,57 et 0,68 mg/L. Les fortes valeurs comprises entre 0,57 et 1,33 mg/L occupaient plus de 70 % de la surface de la retenue. Les faibles teneurs en nitrate se localisaient dans l'axe verticale du déversoir de crue (Figure 15). Les valeurs du NO_3^- dans la profondeur évoluaient presque de façon identique avec celles du NH_4^+ en saison humide, caractérisant ainsi un gradient vertical positif de la surface à 1,5 m de profondeur, puis négatif jusqu'à 3 m de profondeur (Figure 16). Toutefois les eaux des stations 2, 7 et 8 présentaient un gradient vertical positif.

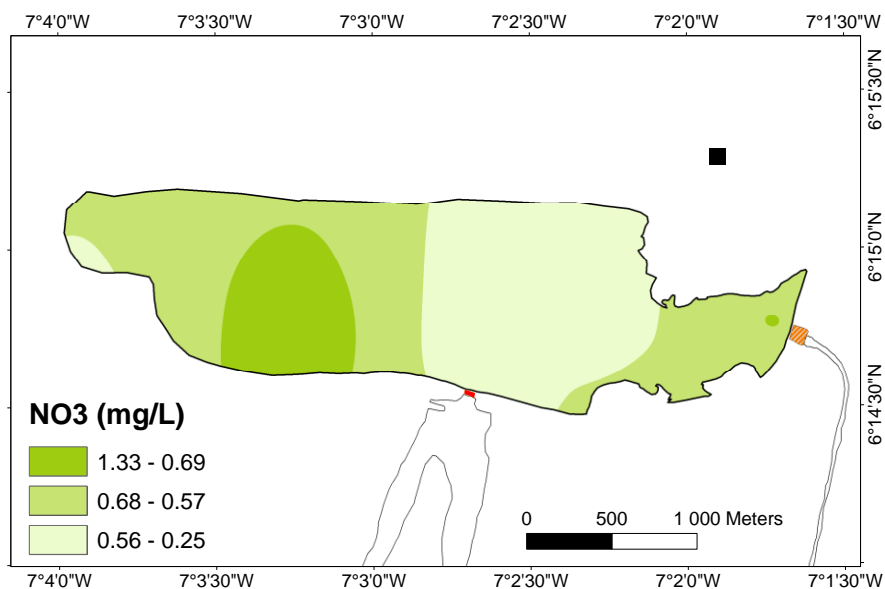


Figure 15 : Répartition spatiale des nitrates NO_3^- dans le lac de Buyo en période de crue

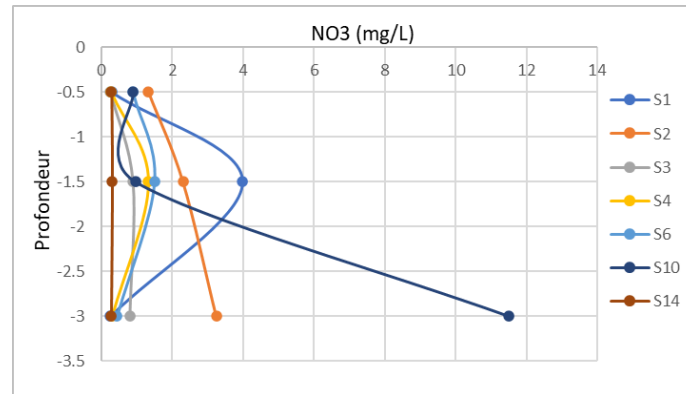


Figure 16 : Évolution des nitrates NO_3 dans la colonne d'eau

3-2. Analyse en composante principale Normée (ACPN)

3-2-1. Matrice de corrélation

Le **Tableau 1** présentait la matrice de corrélation montrant les relations entre les variables physicochimiques prises deux à deux. A l'analyse il ressortait :

- une corrélation moyenne positive ($r = 0,50$) entre le pH et les MES ;
- une corrélation moyenne positive ($r = 0,50$) entre l'oxygène dissous et les nitrates ;
- une corrélation moyenne négative ($r = -0,68$) entre la température et la conductivité ;
- une corrélation moyenne négative ($r = -0,50$) entre le pH et la conductivité.

Ces différentes corrélations révélaient les interactions entre les MES, le pH, la température, la conductivité et les nitrates. Elles s'expliqueraient soit par une origine commune soit par un processus identique régulant leur évolution dans l'environnement.

Tableau 1 : Matrice de corrélation

Matrice	T°	pH	O_2	Cd	NH_4	NO_3	MES
T°	1.00						
pH	0.11	1.00					
O_2	0.21	0.34	1.00				
Cd	-0.68	-0.50	0.08	1.00			
NH_4	-0.31	0.07	-0.40	0.25	1.00		
NO_3	0.38	0.21	0.50	0.17	0.07	1.00	
MES	0.35	0.50	0.24	-0.42	0.15	0.05	1.00

T° : température, Cd : conductivité, NH_4 : ammonium, NO_3 : nitrates, O_2 : oxygène dissous, pH : potentiel hydrogène, MES : matière en suspension.

3-2-2. Analyse du pourcentage de variance exprimée

Les valeurs propres et les différents pourcentages exprimés étaient présentés dans le **Tableau 2**. Ils permettaient une estimation quantitative des facteurs efficaces rendant compte au mieux du maximum de l'information statistique. Ce tableau montrait le pourcentage de variance exprimé par chaque facteur. A l'analyse de ce tableau on remarquait que les trois premiers axes factoriels exprimaient respectivement 35,63 %, 21,59 % et 19,11 %. Ces trois facteurs ((Fact.1, Fact.2 et fact.3), exprimaient à eux seuls 76,34 %

de la variance cumulée. Ils exprimaient plus de 70 % des informations donc suffisaient pour renseigner sur les interactions hydrochimiques dans le lac. C'est donc à juste titre que notre ACPN n'a pris en compte que le plan factorielle (Fact.1-Fact.3) pour l'analyse.

Tableau 2 : Valeurs propres et pourcentages des variances exprimées par les facteurs

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeurs propres	2.49	1.51	1.34	0.91	0.57	0.17	0.01
% Variance exprimée	35.63	21.59	19.11	12.99	8.11	2.42	0.13
% Variance cumulée	35.63	57.23	76.34	89.33	97.44	99.87	100.00

3-2-3. Projection dans l'espace des variables

• **Plan factoriel Fact 1-Fact 2**

La projection des variables permettait d'observer les corrélations qui existaient entre les différentes variables. Selon le cercle de communauté du plan factorielle (Fact.1 et Fact.2) (**Figure 17**), le facteur 1 représentait 35,63 % des informations. Le facteur F1 était déterminé dans sa partie négative par des variables telles que : MES, température, O₂ dissous et pH. Le paramètre MES est un paramètre d'origine superficielle. La corrélation moyenne positive entre le pH et MES ($r = 0,50$), montrait que ces deux paramètres suivaient la même évolution saisonnière et avaient la même origine qui pourrait être les eaux de ruissellement ou les apports fluviaux. Le facteur 1 était déterminé dans sa partie positive par la conductivité. Cette variable traduisait une minéralisation naturelle de l'eau. Cette minéralisation proviendrait du contact entre l'eau et les roches sous-jacentes. Le facteur 1 exprimait donc le phénomène de la minéralisation superficielle d'origine naturelle. Avec une inertie de 21,59 %, la deuxième composante F2 était défini dans sa partie positive par les nitrates et l'O₂ dissous. Ces variables rendaient compte des phénomènes de nitrification. Le facteur 2 était donc l'axe de la qualité de l'eau.

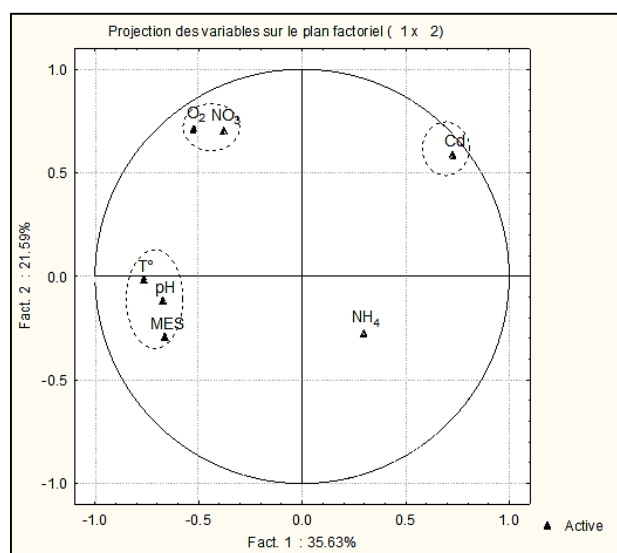


Figure 17 : Cercle de communauté du plan factoriel F1 - F2 des eaux du secteur aval du lac de Buyo en période de crue

• **Plan factoriel Fact 1-Fact 3**

Le facteur 3 était mis en relief par les MES, pH et NH₄⁺ au niveau de son pôle positif (**Figure 18**). Son pôle négatif était déterminé par la température. Les paramètres MES et NH₄⁺ étaient des indicateurs de pollution

par les particules organiques domestiques et minérales naturelles charriées lors de la période pluvieuse. Le pH était un paramètre dont les variations étaient d'origine diverses. Citons entre autres l'enrichissement organique et le mauvais brassage des eaux. En outre, les eaux de pluies justifieraient cette variation. Le facteur F3 définissait l'origine des nutriments par les apports superficiels, ce qui traduisait un phénomène de pollution organique d'origine naturelle.

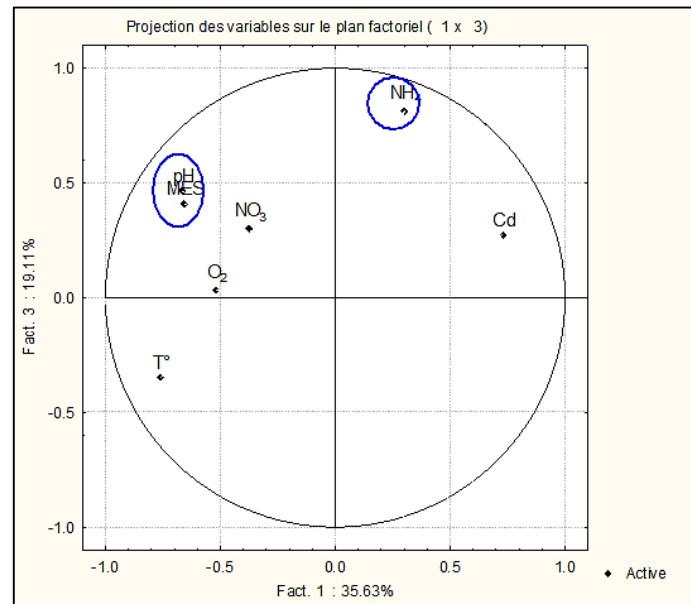


Figure 18 : Cercle de communauté du plan factoriel F1 - F3 des eaux du secteur aval du lac de Buyo en période de crue

3-2-4. Projection des individus dans l'espace

Quatre (4) familles d'unités statistiques se distinguaient dans ce plan (**Figure 19**):

- la famille I (F1) d'unité statistique, regroupait les points de mesures 1, 3, 4 et 6. Cette famille était constituée d'eaux à faibles températures et pH moyen. L'O₂ dissous et la conductivité étaient également moyens. Ces eaux étaient peu troubles et faiblement chargées en MES. Elles se situaient au Sud, dans l'axe horizontale du déversoir de crue.
- la famille II (F2) regroupait les unités statistiques des points de mesures 2, 7 et 5. Ces eaux avaient des teneurs en oxygènes dissous et matières en suspensions élevées et une forte conductivité, qui montrait une minéralisation importante.
- la famille III (F3) comprenait l'unité statistique 8. Cette famille se localisait au Nord de la retenue et était constituée d'eaux à température et pH élevés. Ces eaux étaient turbides avec de fortes teneurs en MES et oxygènes dissous. Elle présentait également une faible conductivité, traduisant ainsi une faible minéralisation.

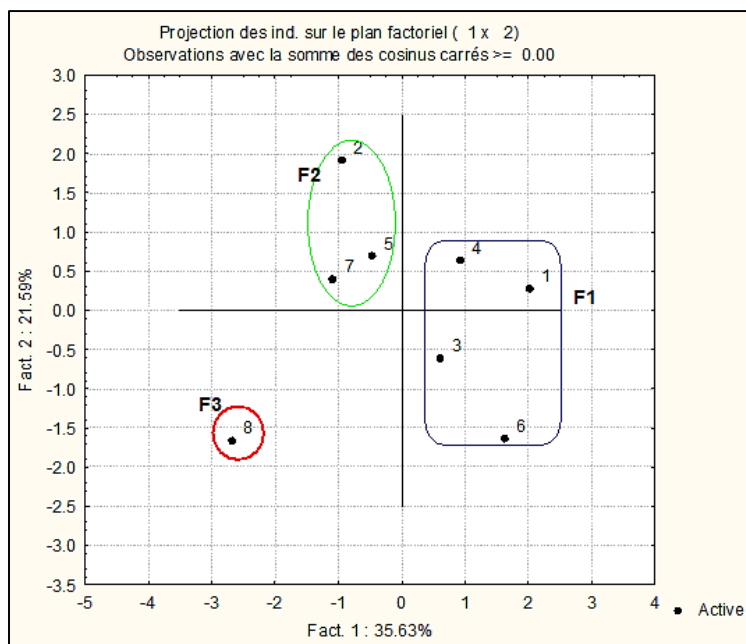


Figure 19 : Représentation des stations dans le plan factoriel F1-F2 des eaux du secteur aval du lac de Buyo en période de crue

4. Discussion

4-1. Potentiel Hydrogène (pH), oxygène dissous et température

L'analyse du potentiel d'hydrogène en surface a montré l'influence de la photosynthèse sur l'environnement lacustre [14]. Elle engendre des pH neutres parfois basiques sur le lac de Buyo. En effet, le pH varie de 6,4 à 8,23 avec une moyenne de 7,69 en période de crue. Les valeurs du pH en période de hautes eaux se situent dans l'intervalle des valeurs guides (6,5-8,5) de [15]. Les valeurs de pH obtenues sur le lac de Buyo sont quasiment proches à celles mesurées sur le lac Bacon qui varie de 6,5 à 9,5 [16]. Ces différentes valeurs sont liées aux réactions biologiques et physicochimiques en rapport avec la présence des végétaux aquatiques [17]. Cependant dans le secteur aval du lac de Buyo cette variation pourrait être principalement liée à l'activité photosynthétique due aux phytoplanctons présents dans ces eaux. En prenant en compte la période d'observation, la teneur moyenne en oxygène dissous des eaux superficielles du lac de Buyo est 4,35 mg/L. Ce résultat est conforme à celui obtenu par [16] dans le lac Adaou (4,88 mg/L) en saison pluvieuse. L'origine de l'oxygène dissous dans les milieux naturels serait certes liée à l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques mais aussi à la dissolution à partir de l'oxygène atmosphérique. Selon la [12], une eau d'excellente qualité devrait avoir une concentration en oxygène comprise entre 7 et 10 mg/L. Dans le lac de Buyo, les concentrations moyennes en OD sont largement inférieures aux valeurs guides fixées par la [13]. Par conséquent, les eaux du secteur aval du lac de Buyo sont donc de qualité moyenne, avec des teneurs moyennes en OD comprise entre 3 et 5 mg/L. Les eaux du lac Labion sont plus oxygénées que celles du secteur aval du lac de Buyo avec des concentrations en OD variant de 8,2 mg/L à 9,01 mg/L [18]. Toutefois, les teneurs moyennes en OD du lac de Buyo sont inférieures à celles obtenues par [20] en saison humide qui est de 6,75 mg/L. Les températures du lac Buyo varient peu et sont sensiblement identiques à celles obtenus (27,48 °C à 32,45 °C) par [14] sur le lac M'bakré et celles de [20] (26 °C à 32 °C) sur le lac de Buyo. Par ailleurs, l'évolution de la température suivant la profondeur a mis en évidence une stratification thermique. Elle se matérialise quand la profondeur le permet et a des répercussions sur les concentrations d'oxygène dissous et du pH.

4-2. Conductivité électrique, matière en suspension (MES), ammonium, nitrates et transparence

Les conductivités moyennes des eaux de surface du secteur aval du lac de Buyo en période de crue est de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le lac de Buyo présente donc une conductivité électrique très faible (CE inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La valeur moyenne de conductivité enregistrée est sensiblement inférieure à celle obtenue par [19] sur le lac de Buyo (68,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L'étude des MES dans le lac de Buyo montre que les eaux sont chargées en période de crue (6,7 mg/L). [21] rapporte que l'importance et la nature du débit solide en suspension sont liées à l'intensité de l'érosion par l'eau de ruissellement donc de l'importance des précipitations. La teneur moyenne (6,7 mg/L) en MES est supérieure à celle obtenue par [19] sur le lac de Buyo (4,3 mg/L) en période de crue. Cette variation pourrait s'expliquer par l'intensification de la dégradation du couvert végétal qui accentue les processus d'érosion des sols sur le bassin du lac de Buyo au cours des années. Toutefois les matières solides en suspension dans le lac sont relativement faibles par rapport à la charge solide obtenue par [21] dans le lac de Taabo (12 mg/L). Dans le lac, les concentrations les plus élevées de chaque élément nutritif sont pour les nitrates (11,51 mg/L) et l'ammonium (0,304 mg/L). Ces concentrations en azote (ammonium et nitrates) proviennent de la décomposition des végétaux par les bactéries et surtout du lessivage des terres cultivées en saison pluvieuse. Les concentrations en ammonium et en nitrate sont inférieurs aux valeurs guide de [9] ($\leq 1,5$ mg/L pour NH_4^+ ; ≤ 50 mg/L pour NO_3^-). Ces résultats sont en adéquation avec ceux de [19]. Selon [19], ces faibles teneurs en éléments nutritifs dans la zone Buyo notamment pourraient être la conséquence d'une activité photosynthétique due aux phytoplanctons plutôt qu'aux macrophytes. En prenant la transparence comme indicateur de trophie du secteur aval du lac de Buyo, la classification trophique des lacs [11], a permis de classer le lac de Buyo parmi les lacs à caractère eutrophe au cours des périodes de basses et hautes eaux. Ces résultats corroborent ceux obtenus par [19], qui montrent que les eaux du secteur aval du lac de Buyo sont eutrophe avec une transparence moyenne qui était de 2,1 m. L'état eutrophe du secteur aval du lac de Buyo pourrait s'expliquer principalement par la prolifération des producteurs primaires aquatiques. Cependant la turbulence des eaux du lac de Buyo (secteur aval) ne permet pas la prolifération des végétaux aquatiques flottantes. Toutefois l'utilisation d'autres paramètres physico-chimiques tels que le phosphore total et la chlorophylle a dans l'évaluation de l'état trophique du lac doit être envisagé afin d'avoir des résultats plus précis.

4-3. Qualité environnementale des eaux du lac

Les teneurs en ammonium (NH_4^+) et des nitrates (NO_3^-) des eaux du secteur aval du lac de Buyo comparées aux normes de qualité des eaux de consommation de l'OMS ont permis de déterminer la qualité des eaux. La valeur moyenne en période de crue est de 1,46 mg/L pour le NO_3^- et de 0,04 mg/L pour le NH_4^+ dans le lac de Buyo. Selon l'OMS, ces eaux sont de bonne qualité pour la consommation car les teneurs en éléments nutritifs dans le lac sont généralement inférieures aux valeurs guides ($\leq 1,5$ mg/L pour NH_4^+ ; ≤ 50 mg/L pour NO_3^-). Les eaux du lac présentent une transparence moyenne de 1,51 m. La DCE ([12]), qualifie ces eaux de qualité médiocre car comprise entre 2 et 0,8 m de profondeur. Selon la classification trophique des lacs [11], les eaux du secteur aval du lac de Buyo ont un caractère eutrophe. En effet, la prolifération des végétaux aquatiques envahissant (VAE) est à l'origine de la formation d'un écran en surface des eaux qui empêche l'oxygénation du milieu en période de pluie [22]. De plus, ces retenues présentent d'importants signes d'eutrophisation qui se caractérisent par la présence permanente des végétaux aquatiques envahissants à sa surface. La surface occupée par ces végétaux continue de croître affectant ainsi la qualité de l'eau et les activités de pêche [23]. Les eaux du lac présentent une acidification allant de mauvaise à excellente. Ces eaux ont une faible teneur en oxygène dissous, dont la moyenne en période de crue est de 4,35 mg/L. Selon [13], les eaux du lac sont de qualité moyenne car comprise entre 3 et 5 mg/L. D'une façon générale, les eaux du secteur aval du lac de Buyo présentent une qualité allant de médiocre à bonne au cours de la période de hautes eaux et sont propice à la consommation.

5. Conclusion

Les eaux du secteur aval du lac de Buyo sont alcalines, moyennement minéralisées, relativement bien oxygénées en surface et désoxygénées en profondeur. Les concentrations des MES varient selon la profondeur au cours de la période de crue et présentent en général un gradient vertical positif. Cette variation pourrait mettre en évidence les phénomènes de courants de densité dans le lac. La valeur moyenne en période de crue des eaux de surface est de 1,46 mg/L pour NO_3^- et de 0,04 mg/L pour le NH_4^+ dans le lac de Buyo. Ces valeurs sont conformes à la directive de l'OMS pour les eaux destinées à la production d'eau potable. En outre, les eaux du secteur aval du lac de Buyo présentent une qualité allant de bonne à médiocre pendant la période de hautes eaux. L'utilisation de techniques multivariées (ACP) a permis de définir d'une part, l'origine des nutriments par les apports superficiels et d'autre part, par l'activité photosynthétique des cyanobactéries. La classification trophique des lacs a permis de classer le secteur aval du lac de Buyo parmi les lacs à caractère eutrophe.

Références

- [1] - T. KASSOUM, "Caractéristiques limnologiques du lac de Kossou (Côte d'Ivoire)". Ann. Univ. Abidjan. Série E (Ecologie). Tome XII, (1979) 30 - 69 p.
- [2] - C. GALY-LACAU, R. DELMAS, G. KOUADIO, S. RICHARD and P. GOSSE, "Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions". *Glob. Biogeochem. Cycl.*, Vol. 13, (1999) 503 - 517
- [3] - A. OUATTARA, "Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire)". Thèse de Doctorat Unique, Université Katholique de Louvain, Belgique, (2000) 207 p.
- [4] - O. YAPO, "Contribution à l'évaluation de l'état trophique du lac de Buyo (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire) : Etude analytique et statistique des paramètres physico-chimiques et biologiques". Thèse de doctorat unique en Sciences et Gestion de l'environnement, Université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), (2003) 279 p.
- [5] - N. GROGA, "Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire)". Thèse de doctorat, Université de Toulouse, (2012) 224 p.
- [6] - CRDI, "De la Forêt aux Champs en Côte d'Ivoire ; Améliorer la gestion des ressources, améliorer la santé". (2003), Disponible auprès de www.crdi.ca/ecohealth. Consulté en novembre 2010
- [7] - F. LAURENT, "Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyses des dynamiques territoriales". Habilitation à Diriger des Recherches. Université du Maine, (2012) 185 p.
- [8] - H. LECLERC, "Nitrates de l'eau d'alimentation et risques pour la santé". Académie d'agriculture de France. Séance du 24 mai 2008, (2008) 4 p.
- [9] - OMS (ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE), "Guidelines for drinking-water quality". Recommandations, fourth edition, (2011) 442 p.
- [10] - DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL, "cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau", (2000) 72 p.
- [11] - OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT), "Environment Directorate", OECD, Paris, (1982) 154 p.
- [12] - MEEDDAT MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, "Evaluation de l'état des eaux douces de surface de la métropole". Guide Technique, Paris, (2009) 73 p.
- [13] - SEEE, "Fiche sur le nouveau système d'évaluation de la qualité des eaux", Maroc, (2008) 5 p.
- [14] - C. AKA, "Caractérisation bathymétrique, hydrologique et sédimentologique d'un environnement lacustre du littoral de Côte d'Ivoire : cas du lac M'bakré". Thèse de doctorat. Université Felix Houphouët Boigny de Cocody, (2016) 176 p.

- [15] - OMS (ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE), "Directives de qualité pour l'eau de boisson", recommandations. Organisation Mondiale de la Santé, 3ème édition, Vol. 1, (2004) 110 p.
- [16] - Y. D. S. ATTO, "Caractérisation de la pollution et évolution de la morphologie du fond des retenues d'eau aménagées pour l'approvisionnement en eau potable : cas des retenues d'Adaou et de Bacon (Est de la Côte d'Ivoire)". Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan, (2018) 188 p.
- [17] - E. LYNDA, E. TCHIRIOUA, N. JULES, D. TOUSSAINT, "Variations temporelles des paramètres physicochimiques et biotiques de deux écosystèmes aquatiques de la lagune Ebrié". *European Journal of Scientific Research*, 58 (3) (2011) 414 - 422 p.
- [18] - E. ODOHOU, M. AMANI, G. SORO, S. MONDE, "Caractérisation physico-chimique des eaux d'un système lacustre du cordon littoral ivoirien : cas du lac Labion". *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (5) (2020) 1878 - 1892
- [19] - V. MAMBO, A. JIDON, O. YAPO et P. HOUENOU, "Evaluation de l'état trophique du lac de Buyo (CI) : aspects physico-chimiques et biologiques", *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, Vol. 11, (2001) 95 - 134 p.
- [20] - A. BOUANANI, "Hydrologie, transport solide et modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW —Algérie)". Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, (2004) 249 p.
- [21] - K. L. KOUASSI, Y. A. N'GO, T. GNAGNE, B. KAMAGATE, N. H. MELEDJE, I. SAVANE, Improvement of the Assessment Method of the Main Terms of the Hydrological Balance of the Hydroelectric Dam Lakes of Côte D'Ivoire in a High Hydropluviometric Fluctuations Context : Case of Taabo Lake. *European Journal of Scientific Research*, 19 (1) (2007) 71 - 84