

Évaluation de la qualité écologique de l'eau du lac Djètoè dans la commune de Lokossa

Flavien Edia DOVONOU¹, Wilfrid ATCHICHOE^{2*}, Giovannia BANKOLE² et Firmin ADANDEDJI²

¹ Institut National de l'Eau, Département Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau, 01BP 526 Cotonou, Bénin

² Université d'Abomey-Calavi, Institut National de l'Eau, Laboratoire de l'Hydrologie Appliquée, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

(Reçu le 17 Mai 2023 ; Accepté le 21 Juillet 2023)

* Correspondance, courriel : asfrid@yahoo.fr

Résumé

Le présent travail porte sur l'évaluation de la qualité écologique de l'eau du lac Djètoè dans la commune de Lokossa (Benin). Il a pour objectif d'évaluer la qualité de l'eau du point de vue physico-chimique et biologique pour connaître le niveau actuel de pollution. La démarche méthodologique s'est déroulée en trois phases : la recherche documentaire, les travaux de collecte de données de terrain et d'analyse au laboratoire. Les paramètres in situ (pH, température, conductivité) ont été mesurés à l'aide d'un multi paramètre YSI Pro-2030-professional Series ; la méthode spectrophotométrique a été utilisée pour les analyses physico-chimiques (Nitrites, nitrates, ammonium, orthophosphates, etc.) et le phytoplancton a été échantillonné via un filet à plancton de maille 20 µm, dénombré et observé à l'aide du microscope photonique de marque VWR puis identifié à l'aide des clés d'identification. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux présentent une température élevée et des teneurs élevées en nitrite et phosphore total mais polluée en ammonium. Quant aux paramètres biologiques, ils révèlent une grande diversité d'espèces dans le lac avec une dominance des euglenophycées (28,81 %). Les chlorophycées, les diatomées, les cyanophycées, les chrysophycées, les cryptophycées, les dinoflagellés, les xanthophycées et les zygothécées ont été également retrouvées sur les différents sites avec des valeurs respectives tels que 20,34 % ; 18,64 % ; 10,17 % ; 6,78 % ; 3,39 % ; 3,39 % ; 6,78 % ; 1.69 %. Le genre *phacus* et *euglena* est le plus rencontré chez les euglenophycées. La corrélation entre l'abondance des espèces et les paramètres physico-chimiques montre à travers la matrice de Pearson que les euglenophycées sont corrélés par les nitrites, l'ammonium et l'orthophosphate quant aux chlorophycées ils sont uniquement corrélés par l'oxygène. En conclusion, pour assurer une gestion durable du lac, il serait souhaitable que des dispositions soient prises par les autorités communales afin d'assurer le bon fonctionnement écologique de ce cours d'eau.

Mots-clés : lac, qualité écologique, paramètres physico-chimiques, pollution.

Abstract

Evaluation of the ecological quality of the water of Lake Djètoè in the municipality of Lokossa

The present work focuses on the evaluation of the ecological quality of the water of Lake Djètoè in the municipality of Lokossa (Benin). Its objective is to assess the quality of the water from a physico-chemical and biological point of view in order to know the current level of pollution. The methodological approach took place in three phases: documentary research, field data collection and laboratory analysis. The in situ parameters (pH, temperature, conductivity) were measured using a YSI Pro-2030-professional Series multiparameter; the spectrophotometric method was used for the physico-chemical analyzes (Nitrites, nitrates, ammonium, orthophosphates, etc.) and the phytoplankton was sampled via a 20 µm mesh plankton net, counted and observed using the light microscope VWR brand then identified using the identification keys. The results of the physico-chemical analyzes showed that the waters have a high temperature and high levels of nitrite and total phosphorus but polluted with ammonium. As for the biological parameters, they reveal a great diversity of species in the lake with a dominance of euglenophyceae (28.81 %). Chlorophyceae, diatoms, cyanophyceae, chrysophyceae, cryptophyceae, dinoflagellates, xanthophyceae and zygophyceae were also found on the different sites with respective values such as 20.34 %; 18.64 %; 10.17 %; 6.78 %; 3.39 %; 3.39 %; 6.78 %; 1.69 %. The genus phacus and euglena is the most encountered in euglenophyceae. The correlation between the abundance of the species and the physico-chemical parameters shows through the Pearson matrix that the euglenophyceae are correlated by nitrites, ammonium and orthophosphate as for the chlorophyceae they are only correlated by oxygen. In conclusion, to ensure sustainable management of the lake, it would be desirable for measures to be taken by the municipal authorities to ensure the proper ecological functioning of this watercourse.

Keywords : *lake, ecological quality, physico-chemical parameters, pollution.*

1. Introduction

L'eau est une ressource naturelle essentielle à tout écosystème et aux activités humaines. Elle représente un élément vital indispensable à la vie des êtres vivants. Les eaux de surface et les eaux souterraines ne représentent que 0.01 % du volume d'eau sur terre or les eaux de surface jouent un rôle capital dans le cycle hydrologique et pour la vie aquatique [1]. La convention [2] « concernant les zones humides, vise à enrayer leur dégradation ou disparition, aujourd'hui et demain, en reconnaissant leurs fonctions écologiques ainsi que leur valeur économique, culturelle, scientifique et récréative ». Ces eaux superficielles constituent des écosystèmes très riches en biodiversité et servent d'habitats irremplaçables, de zone de ponte et de nurseries pour de nombreuses espèces [3]. Malheureusement, ces milieux sont le réceptacle de nombreuses substances sous des formes dissoutes et particulaires liées à des origines à la fois anthropiques et naturelles comme la géologie sous-jacente, la chimie atmosphérique, le rejet d'effluents industriels et domestique, l'utilisation des engrais chimiques [4]. Au Bénin plusieurs ressources en eau ne sont pas à l'abri des grandes menaces écologiques à cause des activités anthropiques qui s'exercent mais aussi, les pressions sur l'environnement influencent aussi la qualité écologique de la ressource [5]. Le lac Djètoè dans la commune de Lokossa à l'instar de nombreux plans d'eau du Bénin subit une pression importante. Sur ce milieu s'exercent de nombreuses activités qui sont sources de dégradation et du dysfonctionnement des cours d'eau, du fait de la concentration de la plupart des contaminants dans la chaîne trophique [6]. De par sa situation géographique le lac est sujet à des rejets de plusieurs polluants issus des activités anthropiques. Tous ces polluants affectent le bon fonctionnement écologique du lac. Aussi, plusieurs études ne se sont pas intéressées à la qualité du lac Djètoè. C'est ce qui justifie le choix de notre sujet d'étude dont l'objectif général est d'évaluer la qualité écologique de l'eau de ce lac.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La Commune de Lokossa est située au Nord-Ouest du Département du Mono, elle est l'une des six (06) subdivisions administratives que compte ce Département. Elle couvre une superficie de 260 km², ce qui représente 16 % de la superficie du Mono (1605 km²) et 0.23 de la superficie totale du Bénin [7] Limitée au Nord par la Commune de Dogbo dans le Couffo, au Sud par les communes d'Athiémé et de Houéyogbé, à l'Est par celle de Bopa et à l'Ouest par le territoire togolais, cette commune a son chef-lieu distant de 106 km de Cotonou, au Bénin. Cette commune est divisée en cinq (05) arrondissements avec Lokossa comme chef-lieu. Les autres arrondissements sont Agamè, Koudo, Houin et Ouèdème-Adja. Ces arrondissements sont subdivisés en quinze (15) quartiers de ville et vingt-neuf (29) villages, soit un total de quarante-quatre localités. Le lac Djetoè (**Figure 1**), est situé entre la commune de Lokossa et d'Athiémé, il fait partir des nombreux lacs que possède la commune de Lokossa. Sa superficie est de 3,4 Km² [8].

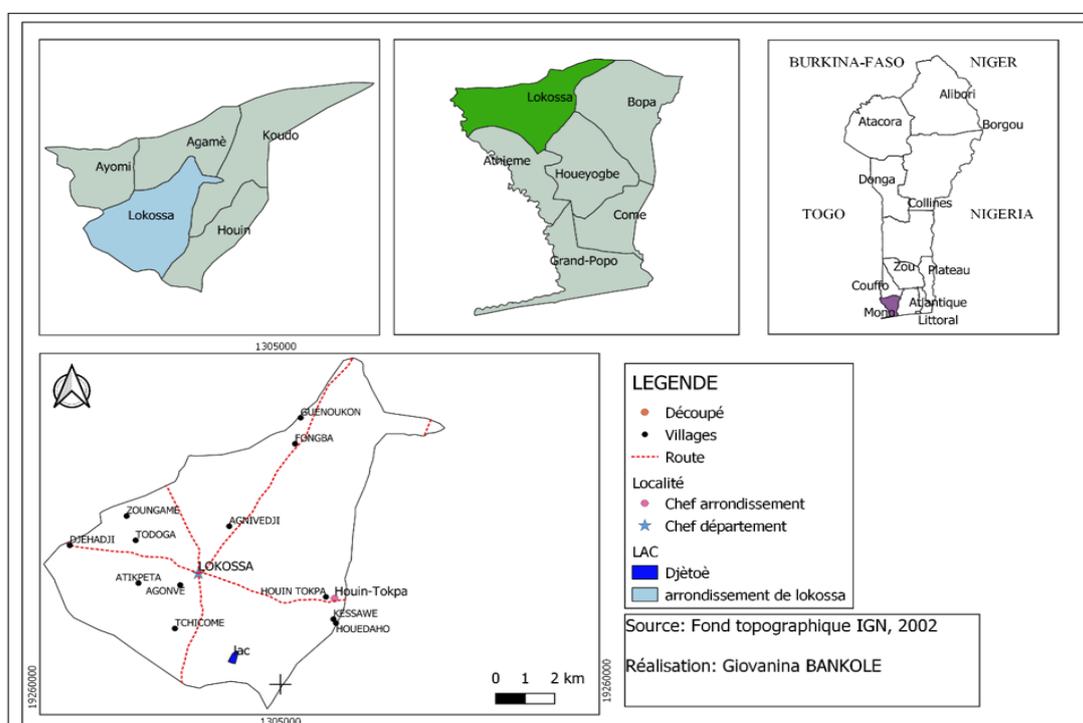


Figure 1 : Situation Géographique du lac Djetoè

Le choix des points d'échantillonnage a été fait sur la base des entrées, sorties du lac, et des lieux d'activités anthropiques (**Figure 2**). Au total cinq échantillons ont été prélevés et conservés. Le **Tableau 1** présente les sites de prélèvements et leurs coordonnées avec leur particularité.

Tableau 1 : Sites de prélèvement et leurs coordonnées

Site de prélèvement	Coordonnées en UTM (Universal Mercator Mercator)	
	Longitude	Latitude
Site1 (eau venant de la ville de Lokossa)	731611,2	358582,2
Site2 (sortie des eaux)	731412,4	358867
Site3 (centre)	731409,9	358535,9
Site4 (entrée des eaux venant du fleuve mono)	731320,2	358311,8
Site5 (entrée des eaux de Lokossa)	731206,9	358614,3

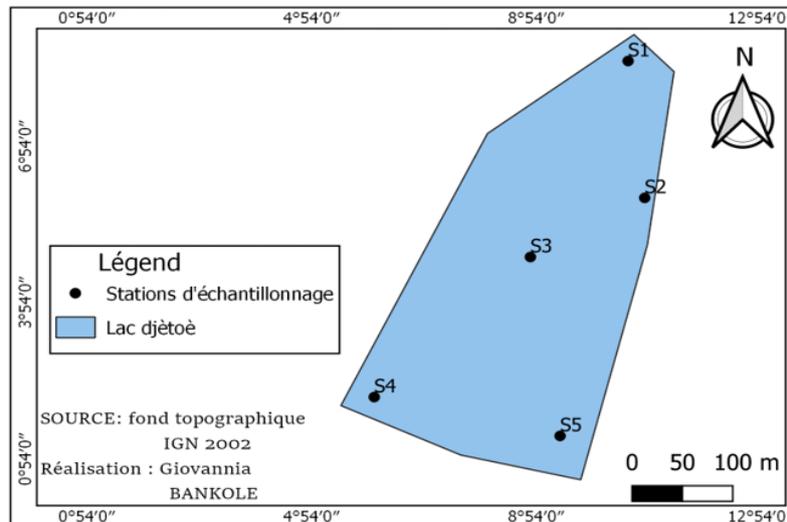


Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage

2-2. Matériel technique

• *Sur le terrain*

Un GPS (Global Positioning System) est utilisé pour la prise des coordonnées géographiques (longitude, latitude, altitude) des points de mesure ; un multi-paramètre de marque YSI Pro-2030-professional Series est utilisé pour la mesure des paramètres in-situ comme : le pH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous ; un disque de Secchi a permis de mesurer la transparence ; un marqueur et une bande adhésive sont utilisés pour étiqueter les échantillons ; une fiche de terrain permet de relever les valeurs in-situ ; un appareil photo est utilisé pour la prise des observations physiques du terrain ; des flacons d'échantillonnage ont permis de prélever les échantillons d'eau ; un filet à plancton est utilisé pour collecter le phytoplancton ; des boîtes de mayonnaises ont permis de conserver les planctons récoltés de 100 à 250 ml ; du formol 4 % est utilisé pour fixer le phytoplancton ; une glacière (4 °C) et des blocs réfrigérant sont utilisés pour conserver les échantillons récoltés ; une barque est utilisée pour le déplacement sur le lac.

• *Au laboratoire*

Un colorimètre HACH DR 850 est utilisé pour mesurer les matières en suspension ; un spectrophotomètre de marque HACH LANGE DR2800 est utilisé pour l'analyse des paramètres chimiques ; un microscope VWR est utilisé pour l'observation des algues microscopiques ; la verrerie de laboratoire.

2-3. Échantillonnage

2-3-1. Échantillonnage de l'eau

L'échantillon est prélevé depuis une embarcation. Avant chaque tournée, le matériel d'échantillonnage est préparé et conditionné selon un protocole de nettoyage défini : Préparer les étiquettes, la glacière, le bloc réfrigérant. Pendant l'échantillonnage il faut rincer plusieurs fois le flacon avec l'eau d'échantillonnage afin de garantir l'absence d'interférence physico-chimique avec les paramètres à mesurer. Le flacon de prélèvement est entièrement immergé dans l'eau et placé à contre-courant (échantillonnage instantané). Il faut remplir le flacon puis le fermer dans l'eau afin d'éviter des bulles d'air et toute fuite de gaz.

2-3-2. Échantillonnage du phytoplancton

L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'un filet à plancton de maille 20 μm (**Figure 3**). C'est généralement un filet conique qui est soutenu par un entonnoir, un embout (l'extrémité du filet) qui permet de concentrer la quantité d'eau filtrée. Le filet est drainé sur une distance de 5 à 10 m environ, à contre-courant de façon horizontale. L'échantillon collecté est versé dans la bouteille de mayonnaise de 250 ml et fixé l'échantillon au formol.



Figure 3 : Prélèvement du phytoplancton

2-4. Détermination des paramètres physico-chimiques et biologiques

✓ *Sur le terrain*

Les paramètres in-situ (pH, conductivité, température, oxygène dissous, les solides totaux dissous) sont mesurés à l'aide d'un multi-paramètre de marque YSI Pro-2030-professional Series. Avant chaque mesure, le positionnement des sites de prélèvement est réalisé à l'aide d'un GPS de marque GARMIN. Il a consisté à une localisation précise des sites au niveau desquels l'échantillonnage d'eau et du phytoplancton a été réalisé. La mesure de la transparence a été faite grâce au disque de Secchi.

✓ *Au laboratoire*

Les analyses effectuées au laboratoire sont des analyses physico-chimiques et biologiques. Les analyses physico-chimiques ont été effectuées par la méthode [9]. Ces analyses concernent les nutriments tels que les nitrates, nitrites, ammonium, orthophosphates et phosphores total. La chlorophylle a été mesurée par la méthode de [10]. En ce qui concerne les analyses biologiques, l'eau échantillonnée dans les bouteilles de mayonnaise de 250 ml est conservée pendant 24 h et on diminue le surnageant à la moitié du volume prélevé qui est environ 250 ml. Le dénombrement du phytoplancton est fait à l'aide du microscope photonique de marque VWR. Il a consisté à prélever une goutte d'eau au fond à l'aide d'une pipette après homogénéisation. Cette goutte est déposée entre lame et lamelle puis observée au microscope photonique à l'objectif 40. Ensuite on prélève ensuite 1 ml de l'échantillon avec une micropipette et on étale sur la cellule de bulker. A travers le microscope on observe les espèces qu'on dessine et au fur et à mesure on compte les espèces retrouvées plusieurs fois. Les espèces observées sont identifiées à l'aide des différentes clés d'identification de [11] et les clés d'identification de [12].

2-5. Analyse statistique

Les données statistiques recueillies sur le terrain et celles issues des analyses de laboratoire, ainsi que le calcul de l'indice, la réalisation des graphes et tableaux ont été réalisés sur Excel 2013. Le logiciel QGIS 3.6 a servi à la réalisation des cartes. Le logiciel R-Studio 3.6.3 est également utilisé pour la réalisation de la matrice de corrélation de Pearson.

2-5-1. Calcul de l'abondance

L'abondance des organismes A (en nombre d'individu par litre) a été calculée par la méthode APHA selon la **Formule**,

$$A = \left(\frac{n}{v_1} \right) \times \left(\frac{v_2}{v_3} \right) \quad (1)$$

n : nombre d'individus comptés ; *v*₁ : volume de l'échantillon observé au microscope (1 ml) ; *v*₂ : volume du filtrat concentré (250 ml) ; *v*₃ : volume d'eau filtré (105,9 L).

2-5-2. Identification des facteurs responsables de la dégradation de la qualité biologique des eaux

Les potentiels facteurs physico-chimiques influençant l'abondance de différentes classes phytoplanctoniques ont été identifiés au moyen du test de corrélation de Pearson. Il a été appliqué à l'ensemble des 5 sites entre les variables abiotiques mesurés sur le lac et les variables biotique ; et réalisé à l'aide du logiciel << R-Studio 3.6.3 >>

3. Résultats

Les résultats issus de notre étude sur le lac Djètoè se présentent comme suit :

3-1. Caractéristiques physico-chimiques du lac Djètoè

❖ Température

La **Figure 4** montre la variation de la température de la température dans le lac Djètoè. Dans le milieu d'étude les valeurs de température varient entre 28,7°C et 29,2°C avec une moyenne de 29,16°C. La valeur minimale est obtenue au niveau de la station 1, et la valeur maximale au niveau de la station 5. Nous constatons que les valeurs de la température sont en-dessous de la limite fixée par les directives de l'OMS (< 30°C).

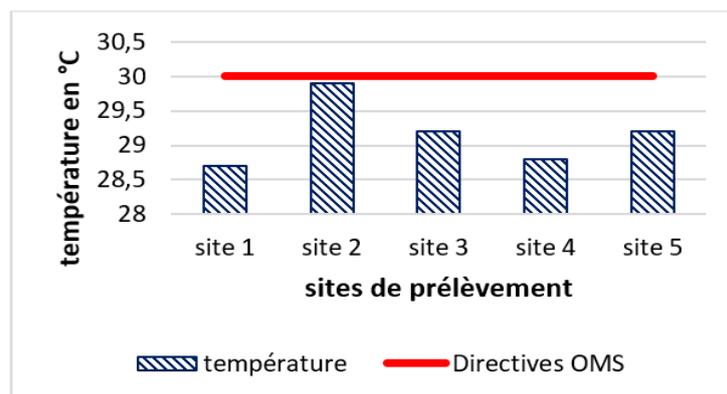


Figure 4 : Variation de la température sur différents sites

❖ Potentiel d'hydrogène

La **Figure 5** nous montre la variation du pH au niveau des différents sites. Pour l'ensemble des eaux échantillonnées dans le lac Djètoè les valeurs du pH oscillent autour de 7 avec une moyenne de 7,186. Nous remarquons que ces valeurs sont entre 6,5 et 8,5 représentant la valeur normalisée pour ce paramètre (directive OMS). Ces valeurs montrent ainsi que l'eau du lac Djètoè a un caractère neutre.

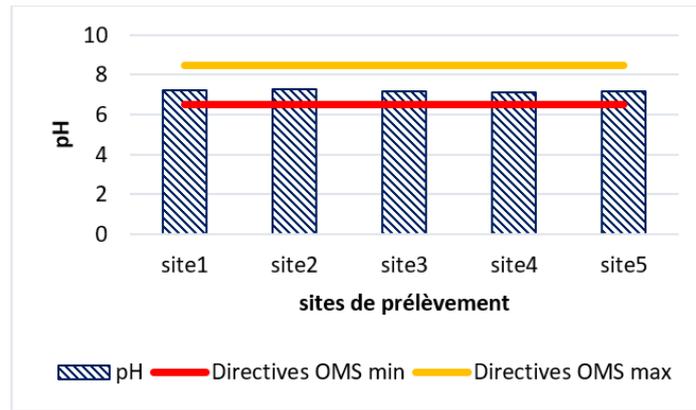


Figure 5 : Variation du pH au niveau des différents points

❖ **Conductivité électrique**

La **Figure 6** présente la variation de la conductivité électrique des différents sites. Il a été constaté que les valeurs de la conductivité varient entre 398 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$ avec une moyenne de 398,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces valeurs sont dans la limite de la norme recommandée par les directives de l'OMS qui est de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

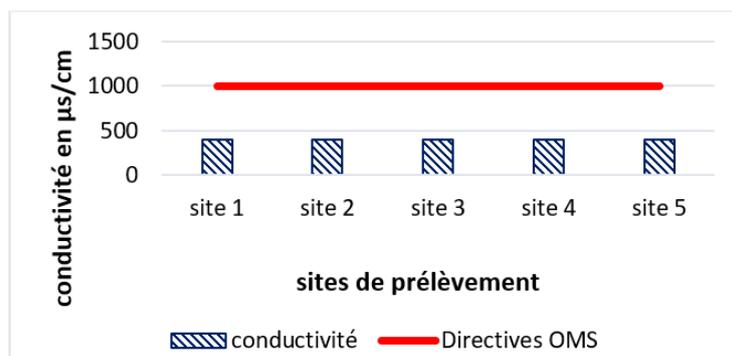


Figure 6 : Variation de la conductivité électrique

❖ **Matières en suspension**

La **Figure 7** présente l'évolution de la concentration en matière de suspension au niveau des sites de prélèvement. Il a été constaté que les teneurs en MES varient entre 1 mg/L et 8 mg/L. La plus faible valeur est obtenue au niveau du site 1 et la plus forte au niveau du site 3 avec une moyenne de 4,4 mg/L. Ces valeurs sont en dessous de la limite de la norme DCE (< 50 mg/L).

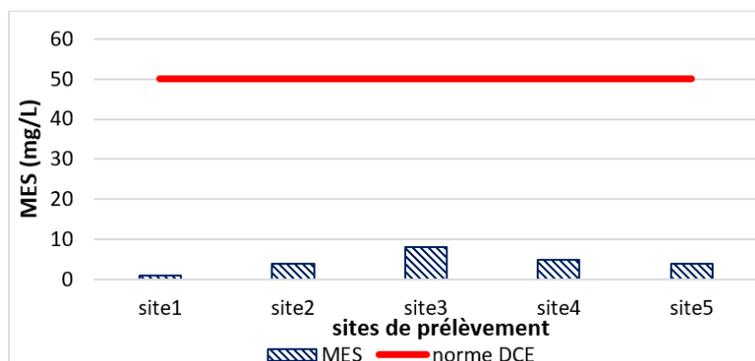


Figure 7 : Évolution de la teneur en MES sur les différents sites de prélèvement

❖ *Transparence*

La **Figure 8** présente les variations de la transparence de l'eau sur les sites de prélèvement. Les valeurs de la transparence mesurées varient entre 0,8 m et 0,91 m. La plus faible valeur est obtenue au niveau du site 5 (0,81 m) et les plus fortes valeurs au niveau du site 1 et 2 (0,91 m) avec une moyenne de 0,88 m. Ces valeurs sont toutes inférieures à la limite de tolérable qui est de 2 m.

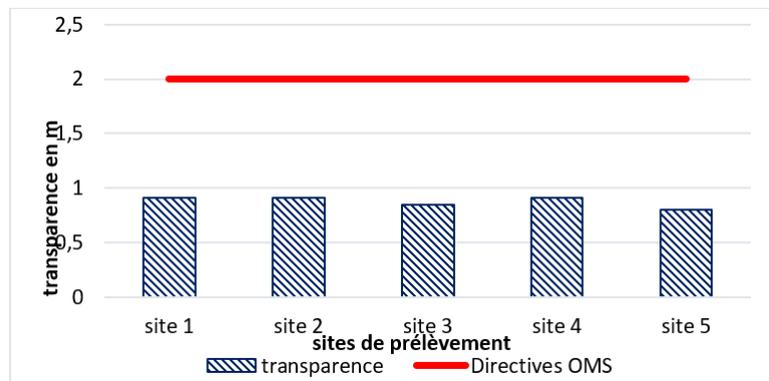


Figure 8 : Variation de la transparence sur le lac Djètoè

❖ *Oxygène dissous*

La **Figure 9** présente la variation de l'oxygène dissous de l'eau du lac Djètoè. Les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 3,55 mg/L et 4,39 mg/L avec une moyenne de 3,61 mg/L. La plus faible valeur est obtenue au niveau du site 4 et la plus forte valeur au niveau du site 2. On constate que les valeurs de l'oxygène dissous sont toutes inférieures aux valeurs recommandées par l'OMS (> 5 mg/L). Le milieu présente alors un caractère anoxique.

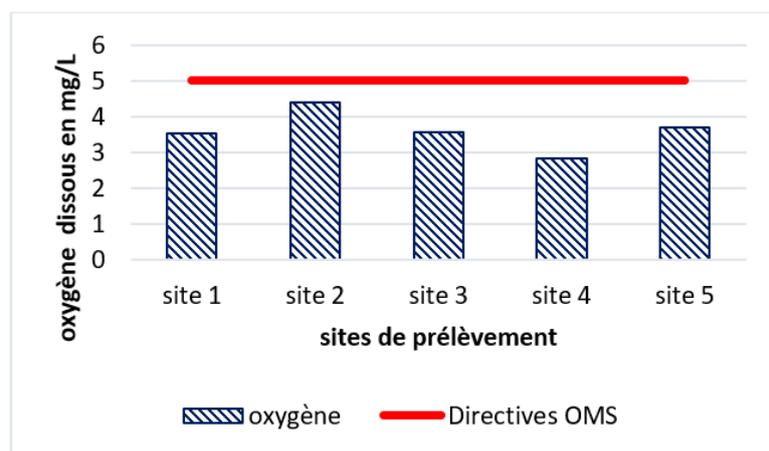


Figure 9 : Variation de l'oxygène dissous au niveau du lac

❖ *TDS*

La **Figure 10** présente la variation des Solides Totaux Dissous dans le lac Djètoè. Sur cette figure, il a été constaté que les valeurs varient faiblement de 240 mg/L à 241 mg/L. La plus faible valeur est obtenue au niveau du site 2 et la plus forte valeur est obtenue au niveau du site 4, avec une moyenne de 240,82 mg/L. Nous constatons que ces valeurs sont toutes inférieures aux directives de l'OMS pour les eaux de surfaces.

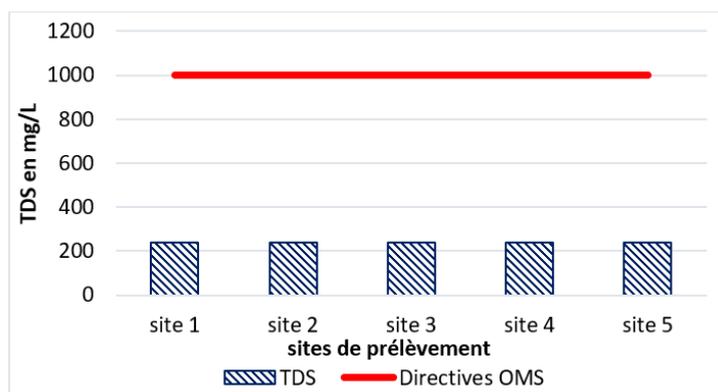


Figure 10 : Variation du TDS sur le lac Djètoè

❖ **Profondeur**

La **Figure 11** présente la variation de la profondeur dans le lac Djètoè. La profondeur du lac varie de 1,85 m à 2,88 m. La plus grande profondeur est obtenue au niveau du site 3 et la plus faible profondeur est obtenue au niveau du site 4.

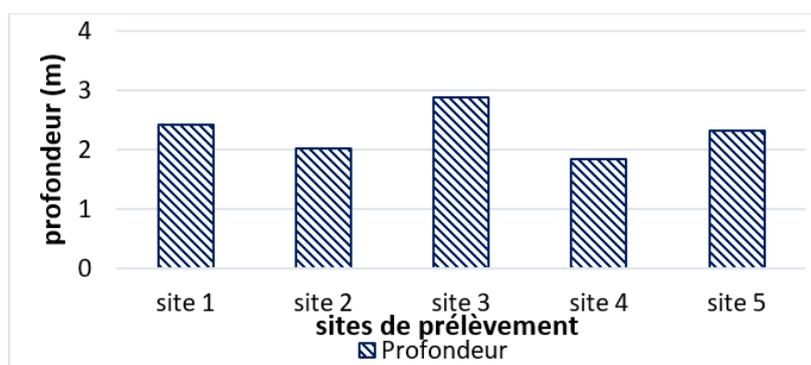


Figure 11 : Variation de la profondeur sur le lac Djètoè

❖ **Chlorophylle a**

La **Figure 12** présente l'évolution de la concentration en chlorophylle a sur le lac Djètoè. L'analyse de cette figure montre que la plus grande valeur (28,08 µg/L) est obtenue sur le site 1 et la plus faible valeur au niveau du site 4 avec une moyenne 15,76 µg/L. La tendance décroissante de la chlorophylle a est observée sur le lac Djètoè.

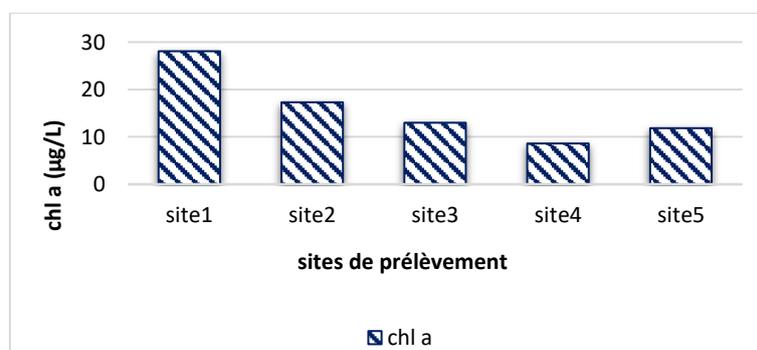


Figure 12 : La teneur en chlorophylle a

❖ Nitrites

La **Figure 13** montre la variation des teneurs en nitrites du lac Djètoè. Il a été constaté sur cette figure que la teneur en nitrite varie entre 0,086 mg/L et 0,064 mg/L. La plus forte valeur est obtenue sur le site 4 et la plus faible sur le site 3 avec une moyenne de 0,073. Les valeurs de la concentration en nitrite obtenues sur le lac sont comprises dans la limite fixée par l'OMS.

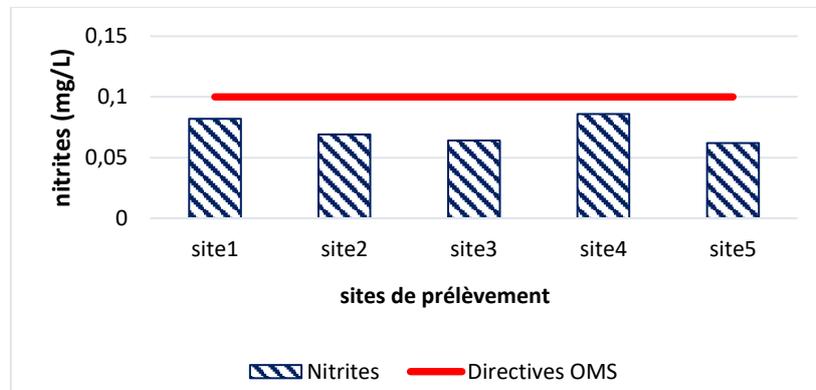


Figure 13 : Variation de la teneur en nitrite

❖ Nitrates

Les concentrations en nitrates obtenues, sur les différents sites échantillonnés, sont inférieures à la limite de détection (0,001 mg/L).

❖ Ammonium

La **Figure 14** présente la variation de la concentration en ammonium au niveau des différents sites de prélèvement. Les valeurs en ammonium obtenues sur le lac varient faiblement. Elles tournent autour de 0,205 mg/L et 0,261 mg/L avec une moyenne de 0,25 mg/L. Nous remarquons que les valeurs des concentrations en ammonium dépassent la limite tolérable (0,1 mg/L) fixée par l'OMS pour les eaux de surface.

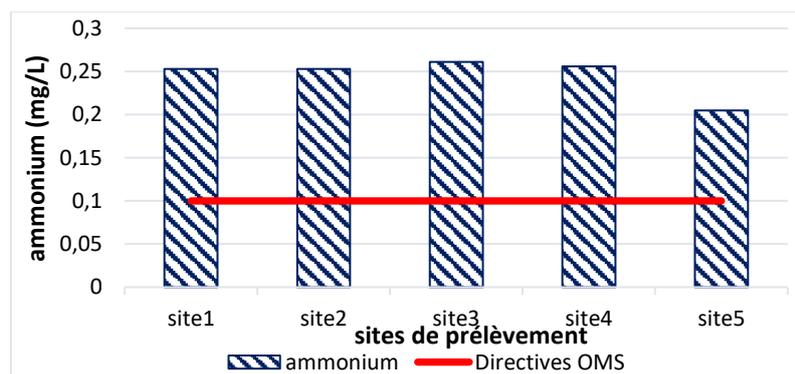


Figure 14 : Variation de la concentration en ammonium sur le lac

❖ Phosphore total

La **Figure 15** présente la variation du phosphore total. La concentration en phosphore total obtenue au niveau du lac Djètoè présente une tendance en cloche. La plus faible valeur (0,027 mg/L) est obtenue au niveau du site 1 et la plus forte valeur (0,138 mg/L) est obtenue au niveau du site 3 avec une moyenne de 0,25 mg/L.

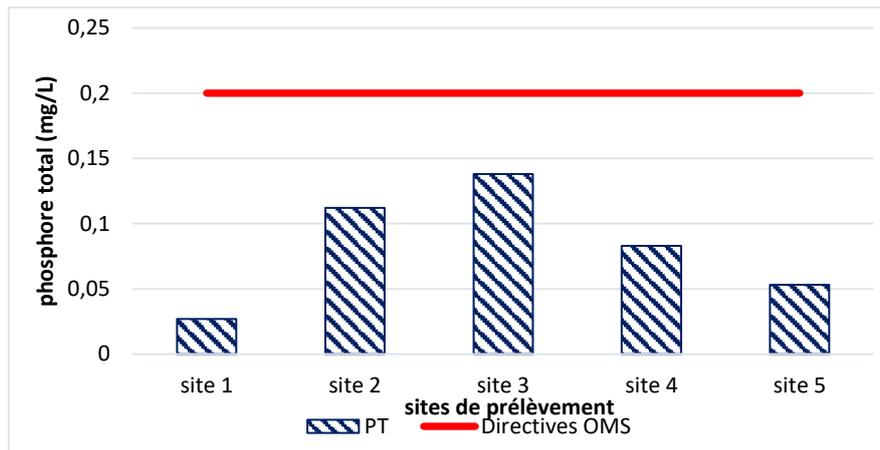


Figure 15 : Variation de la concentration en phosphore total

❖ **Orthophosphate**

La **Figure 16** présente l'évolution de la concentration en orthophosphates sur le lac Djètoè. Les valeurs de la concentration en orthophosphates varient entre 0,001 mg/L et 0,036 mg/L avec une moyenne de 0,017 mg/L. Sur le site 1, la valeur de la concentration est inférieure à la limite de détection (0,001 mg/L). Ces valeurs obtenues sont dans la norme fixée par les directives de l'OMS pour les eaux de surfaces.

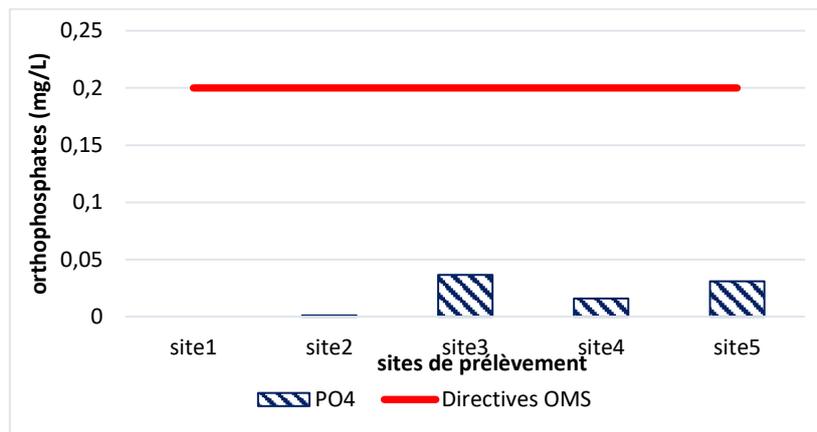


Figure 16 : Variation de la concentration en orthophosphates sur le lac Djètoè

3-2. Caractéristiques biologiques

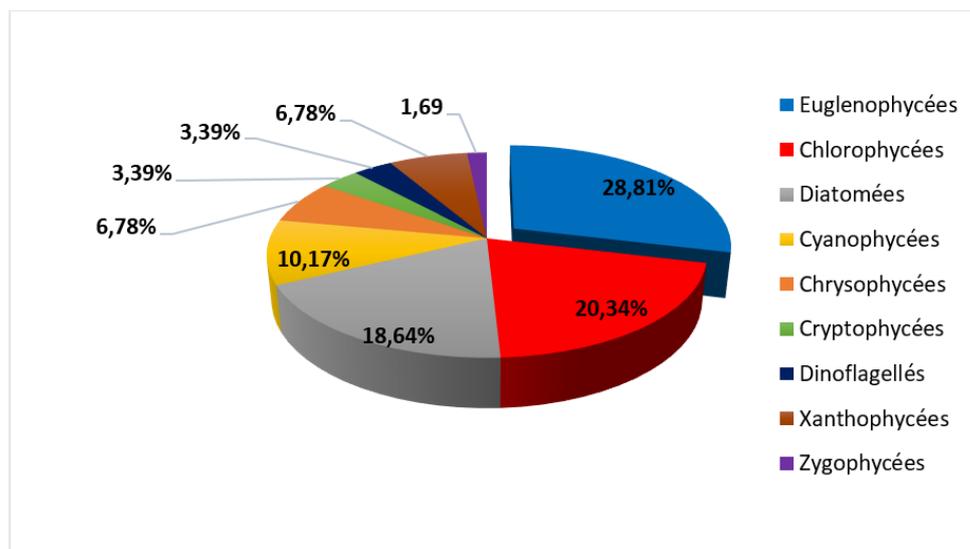
3-2-1. Taxonomie des espèces

L'analyse de la composition des échantillons nous a permis de répertorier dans les eaux du lac Djètoè, 59 espèces phytoplanctoniques. Ces espèces appartiennent à 39 genres et se répartissent en 9 classes dont les diatomées, les chlorophycées, les euglenophycées, les xanthophycées, les dinoflagellés, les cryptophycées, les zygothycées, les cyanophycées, les chrysophycées. La classe des euglenophycées est la plus représentée avec un pourcentage de 28,81 % (**Figure 17**) avec 14 espèces au niveau du site 1 et 12 espèces au niveau du site 3. Celle des zygothycées est la classe la moins représentée avec un pourcentage de 1,69 % (**Figure 17**) avec une espèce au niveau des sites 3, 4 et 5. Le genre *Phacus Platalea*, *Spirogyra Sp*, *Coscinodiscus Walesi* sont les plus représentatifs des euglenophycées, des chlorophycées et des diatomées et se présentent au niveau de tous les sites. Le **Tableau 2** présente les différentes espèces identifiées dans le lac Djètoè.

Tableau 2 : Classification des espèces

Classe	Espèces	Nombre	Pourcentage (%)
Euglenophycées	Phacus Longicauda, Euglena Viridis, Euglena Acus, Phacus Pleuronectes, Euglena Proscima, Lepocinclis Acuminata, Phacus Mentaweiensis, Phacus Platalea, Phacus Oscillans, Phacus Lismorensis, Phacus Triquetter, Phacus Acuminatatus, Phacus Arnoldi, Trachelomonas Planctonica Var. Oblanga, Trachelomonas Conica Var Granulata, Lepocinclis Ovum Var Dimidio-Minor	17	28,81
Chlorophycées	Monoraphidium Arcuatum, Scenedesmus Incrassatus, Scenedesmus Obtunus, Scenedesmus Quadricauda, Spirogyra Sp, Scenedesmus Opoliensis, Sporotetras Pyrisformis, Crucigenia Tetrapedia, Pediastrum Boryanum Var. Typicum, Scenedesmus Javanesis, Scenedesmus Dispar, Tetrastrum Desmus Soli	12	20,34
Diatomées	Diploneis Subovalis, Coscinodiscus Walesi, Cyclotella Nenegkianiana, Navicula Bory, Cyclotella Comensis, Cyclotella Meneghiana, Diploneis Bombus, Pinnularia Lata, Navicula Bacillares, Bacillaria Pascillifer, Nitzshia Closterium	11	18,64
Cyanophycées	Cynechococcus Aeruginosus, Aphanothece Stagnia, Microcystis Elachista, Cynechococcus Major, Coelosphaerium Confertum, Pediastrum Tetras	6	10,17
Chrysophycées	Mallomas Fastigalla, Mallomonas Reginae, Oscillatoria Limosa, Chysooccus	4	6,78
Cryptophycées	Chroomonas, Cryptomonas Ovata,	2	3,39
Dinoflagellés	Peridiniopsis Borgei, Tetradiella Spinigera	2	3,39
Xanthophycées	Gonichloris Gigas, Phacomonas Lacustre, Ophioicytium Majus, Goniochloris Pseudo Gigas	4	6,78
Zygophycées	Gonatzogon Brebissoni	1	1,69
Autres	Espèces non identifiées	39	66,10
Total		59	100

La **Figure 17** montre la répartition des différentes classes de phytoplancton. On remarque que c'est la classe des euglenophycées qui a le plus grand pourcentage comptant 17 espèces suivis des chlorophycées.

**Figure 17 : Répartition des classes phytoplanctonique dans le lac**

3-2-2. Abondance des espèces

La **Figure 18** présente la distribution de l'abondance des classes phytoplanctoniques sur chaque site. L'analyse de cette figure, indique que la classe des euglenophycées est dominante sur les sites 1 et 2, avec des valeurs respectives de 271,48 ; 280,9 ind/L et qu'à partir du site 3, 4 et 5 c'est la classe des chlorophycées qui est abondante, avec une importante croissance observée au niveau du site 4 (533,42 ind/L). La classe des zygophycées est la classe la moins abondante et qui n'apparaît qu'au niveau des sites 3 ; 4 et 5. La classe des diatomées et des cyanobactéries sont aussi abondantes sur le lac, mais en faibles proportions. Nous constatons une évolution croissante de l'abondance du site 1 au site 4. La plus forte abondance des diatomées a été enregistrée sur le site 4 avec une valeur de 533.42 ind/L et pour celle des cyanobactéries au niveau site 4 avec une valeur de 136,92 ind/L.

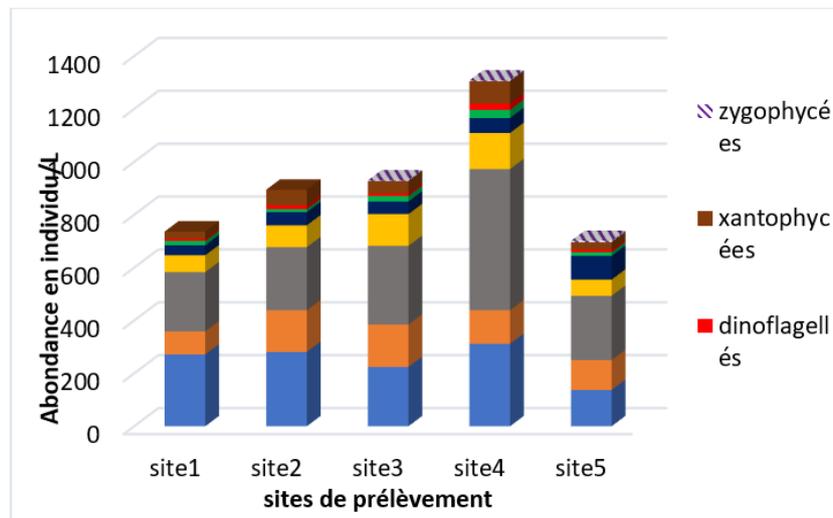


Figure 18 : Variation de l'abondance des différentes classes du phytoplancton

3-3. Détermination des facteurs environnementaux responsables de la dégradation de la qualité biologique des eaux du lac Djètoè

Le **Tableau 3** montre la matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres physico-chimiques et l'abondance des classes phytoplanctoniques. De cette matrice de corrélation, nous constatons que les paramètres physico-chimiques influençant la qualité biologique sont nombreux. Parmi eux nous avons la chlorophylle a qui influence sur la croissance des diatomées, des chlorophycées, des cyanophycées, des cryptophycées, des dinoflagellés, des xanthophycées et des zygophycées.

Tableau 3 : Matrice de corrélation entre les classes phytoplanctoniques et les paramètres physico-chimiques

	eugleno	diato	chloro	cyano	crypto	chryso	dino	xantho	Zygo
pH	0,341	0,189	-0,464	-0,429	-0,462	-0,672	-0,218	-0,101	-0,795
Température	-0,115	0,718	-0,188	-0,158	0,117	-0,603	-0,042	0,068	-0,152
Conductivité	-0,880	-0,171	-0,042	-0,157	0,854	0,000	-0,225	-0,389	0,960
Matière en Suspension	-0,140	0,801	0,398	0,705	0,099	0,378	0,221	0,377	0,405
Transparence	0,969	-0,017	0,264	0,271	-0,794	0,254	0,428	0,525	-0,864
Oxygène Dissous	-0,223	0,355	-0,654	-0,581	-0,026	-0,908	-0,486	-0,387	-0,342
Solides Totaux Dissous	-0,025	-0,412	0,591	0,444	0,286	0,805	0,408	0,253	0,564
Chlorophylle a	0,187	-0,520	-0,732	-0,625	-0,574	-0,498	-0,618	-0,573	-0,701
Nitrite (NO ₂ ⁻)	0,794	-0,465	0,464	0,306	-0,489	0,593	0,529	0,474	-0,453
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,836	0,358	0,256	0,598	-0,919	0,411	0,272	0,509	-0,722
Phosphore Total (Ptotal)	0,137	0,979	0,290	0,626	-0,186	0,149	0,235	0,467	-0,023
Orthophosphates (PO ₄ ³⁻)	-0,697	0,247	0,167	0,270	0,627	0,238	-0,074	-0,108	0,897

Cyano = cyanophycées ; chloro = chlorophycées ; crypto = cryptophycées ; chryso = chrysophycées ; Dino = dinoflagellés ; xantho = xanthophycées ; zygo = zygothécées ; diato = diatomées.

Les corrélations significatives sont ceux supérieurs à 0,5 et -0,5.

4. Discussion

L'étude réalisée a permis de déterminer la composition phytoplanctonique du lac Djètoè en lien avec l'état actuel de pollution. En effet, la température joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels, des gaz et de l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique [13]. Son effet sur la croissance micro algale a été décrit par de nombreux auteurs ; ces derniers confirment la préférence micro algale pour des températures comprises entre 15 et 30 °C [14]. Les valeurs de température obtenues sur le lac varient de 28,7°C à 29,2°C. Ces valeurs sont assez élevées et comparable à celles du lac Taabo de la Côte d'Ivoire [15]. Quant au pH, les valeurs obtenues sur les différents sites d'échantillonnages sont homogènes et proche de 7 avec un écart de 0,18. Ainsi, l'eau du lac a un caractère neutre. Ces résultats sont similaires à ceux de [16] sur le lac Togodo au Togo. Selon [17], un pH compris entre 6 et 9 permet un développement de la faune et de la flore aquatique. Selon [18], une conductivité supérieure à 125 µS/cm peut être liée à l'influence des activités humaines via notamment l'apport de sels. Au niveau du lac Djètoè les valeurs de la conductivité sont comprises entre 398 µS/cm et 400 µS/cm, montrant que ces eaux sont moyennement chargées en sels. Ces valeurs sont dans l'intervalle admise pour les eaux naturelles soit [50 ; 1500] µS/cm. Les valeurs de la conductivité obtenue sur le lac Djètoè sont inférieures à celles enregistrées dans les plans d'eaux Azili, Hlan et Toho au Bénin [19]. Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par suite l'activité photosynthétique. Les valeurs de MES obtenues varient de 1 à 8 mg/L et sont en-dessous de la limite fixée par la DCE. La plus forte valeur obtenue au niveau du site 3 (centre) peut s'expliquer par l'activité de pêche pratiquée avec un apport organique à ce niveau, ce qui expliquerait la faible valeur de la transparence obtenue au niveau de ce site. L'oxygène dissous dans les eaux

de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Sur le lac Djètoè la concentration moyenne en oxygène dissous est de 3,614 mg/L, ce qui est inférieure à la norme fixée par l'OMS mais comprise entre 3 et 6mg/L valeur à laquelle l'eau est caractérisée de bonne qualité [20]. La faible concentration en oxygène dissous au niveau du site 4 serait due soit à une consommation importante de l'oxygène dissous par les bactéries aérobies pour la dégradation de la matière organique, soit à une forte activité photosynthétique du phytoplancton dans le milieu [21]. En ce qui concerne les TDS, ils sont équivalents à la minéralisation totale qui correspond à la somme des anions et des cations présents dans les eaux [22]. Les solides totaux dissous (STD) et la conductivité électrique sont élevés. Cette observation concorde avec celle faite par [23] qui ont enregistré une conductivité électrique en forte corrélation avec les TDS dans la rivière d'Omoku Creek, au Nigeria. La concentration en chlorophylle a constitue une mesure sensible de la quantité d'organismes photosynthétiques et d'algues qui, elle-même, dépend de l'apport en nutriments [24]. Elle permet de caractériser le degré d'eutrophisation de l'eau. Selon [25], un milieu est oligotrophe lorsque sa concentration en chlorophylle a est $< 3\mu\text{g/L}$, elle est mésotrophe lorsque sa concentration en chlorophylle a est entre $3-8\mu\text{g/L}$, elle est dite eutrophe quand la concentration en chlorophylle a est entre 8 et $25\mu\text{g/L}$ et hyper-eutrophe quand la concentration en chlorophylle a est $> 25\mu\text{g/L}$. Sur le lac Djètoè nous avons évalué l'état trophique de chaque site échantillonné. Le site 1 présente un état un état hyper-eutrophe, sur le site 2,3 et 5 un état eutrophe. Ces valeurs montrent une importante production algale au niveau des différents points du lac. Les fortes concentrations en chlorophylle observées sur les sites 1 et 2 sont liées à l'importante transparence obtenue dans ces zones ce qui témoigne de l'élévation, de la température des nitrites et de l'ammonium favorisant donc le développement de la flore algale. Ces valeurs obtenues (8,64 à 28,08 $\mu\text{g/L}$) sont faibles que celles obtenues par [26] sur le lac Nokoué. L'apport des nutriments (nitrites, ammonium, phosphore total et orthophosphate) constituent un facteur principal qui influence la composition et la structure phytoplanctonique.

Les concentrations en nitrites obtenues sur le lac Djètoè (0,64 mg/L- 0,86 mg/L) sont en dessous de la limite de tolérance fixée par l'OMS (0,1 mg/L). Les nitrites proviennent de la réduction des nitrates en milieu anaérobies. Ils se maintiennent dans les milieux peu oxygénés, car instable ils ont tendance à s'oxyder en nitrates [27]. L'ammonium est obtenu par le processus de dénitrification. Par rapport à la concentration en ammonium, les valeurs observées sont toutes supérieures à 0,1 mg/L (norme fixée par l'OMS). Ces fortes teneurs d'ammonium, pourraient être expliquées par la décomposition de la matière organique s'accompagnant d'une importante consommation d'oxygène dissous et favorisant sa production par ammonification [28]. L'eau du lac Djètoè est donc très riche en ammonium. Selon [29], le phosphore total apparait comme le facteur, limitant le plus fréquent dans les eaux douces et dans divers lacs eutrophes des régions tropicales. Les concentrations en phosphore total observées sur le lac sont faibles et appartiennent à la valeur limite de tolérance. Cette même remarque a été faite pour les concentrations en orthophosphate qui présentent des valeurs homogènes sur les différents sites échantillonnés. Ces faibles valeurs obtenues permettent de dire que les plantes utilisent ces éléments pour leurs activités en période de crue [30]. Les paramètres physico-chimiques chimiques analysés nous permettent de conclure que les eaux du lac Djètoè sont essentiellement polluées par l'ammonium. Dans le lac Djètoè nous avons observé la présence des cyanophycées (procaryotes) que les algues vraies (eucaryotes) regroupant les euglenophycées, les diatomées, les chlorophycées, les xanthophycées, les zygothycées, les cryptophycées et les chrysophycées. L'analyse de la taxonomie et de l'abondance du peuplement phytoplanctonique indiquent que la classe des euglenophycées est le plus abondant suivi de la classe des chlorophycées ensuite des diatomées puis des cyanobactéries. La dominance des chlorophycées et des euglenophycées particulièrement serait caractéristique des milieux riches en substances organiques putrescibles [31]. Les représentants de ces embranchements, les genres *Scenedesmus* et *Euglena* notamment, sont connus pour leur prédilection pour les milieux eutrophes [32]. La forte proportion des cyanophycées se justifie par la faible oxygénation, conditions généralement

défavorables à la prolifération algale mais dans lesquelles les cyanobactéries survivent [33], ce qui les rend plus compétitifs. Quant aux faibles proportions des xanthophycées et de zygothécées, leur présence sur tous les sites est due à la richesse du milieu en ammonium et à une conductivité élevée [34]. En revanche le fort taux de diatomées dans ces eaux serait dû aux fortes valeurs de la température enregistrées dans ces eaux. La faible proportion des Chrysophycées justifie le caractère eutrophe des différents sites échantillonnés. En effet, ces groupes de phytoplancton prolifèrent dans les milieux aquatiques oligotrophe où les eaux sont pures [35]. En ce qui concerne la corrélation entre l'abondance des classes phytoplanctoniques et des paramètres physico-chimiques des eaux du lac Djètoè dans la commune de Lokossa, la matrice de corrélation révèle que les chrysophycées et zygothécées sont corrélés négativement avec le pH, alors que les chlorophycées, les cyanophycées et les chrysophycées sont corrélés négativement par l'oxygène dissous, tandis que les euglenophycées, les diatomées et les cyanophycées sont corrélés positivement par les nitrites. Quant à l'ammonium elle corrèle positivement avec les cyanophycées, les xanthophycées, et les zygothécées ; le phosphore total est positivement corrélé avec les diatomées et les cyanobactéries.

5. Conclusion

Le présent travail a permis de retenir que les eaux du lac Djètoè ont un caractère neutre, des températures élevées avec une faible oxygénation. Aussi il est remarqué une pollution en ammonium, et des valeurs élevées en nitrites et phosphore total dues aux activités anthropiques sur le lac. Le lac est fortement diversifié en espèces phytoplanctoniques, 59 espèces ont été recensées appartenant à 09 classes (euglenophycées, chlorophycées, diatomées, chrysophycées, cryptophycées, xanthophycées, zygothécées, dinoflagellés et cyanobactéries). Le calcul de l'abondance des espèces dans les différents sites est en rapport avec les paramètres physico-chimiques. En effet les cyanobactéries sont présentes dans les eaux ayant de faible teneur en oxygène quant aux chlorophycées et euglenophycées ils sont présents dans les eaux ayant de forts taux en nutriment. Cette forte diversité en espèces indique une plus grande variabilité du milieu lors du fonctionnement de l'écosystème face aux perturbations environnementales. Pour la préservation de cet écosystème aquatique nous suggérons un contrôle permanent de sa qualité chimique et biologique.

Références

- [1] - OMM, Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2019, Rapport, (2019) 43 p.
- [2] - RAMSAR, Convention relative aux zones humides d'importances internationales particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, (1971) 7 p.
- [3] - F. RUIZ, M. ABAD, M. OLIAS, M. GALAN, The present environmental scenario of the nador lagoon (Morocco), *environmental research*, 102 (2) (2006) 215 - 29
- [4] - A. ASSAAD, Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux, Université de Lorraine, Thèse de doctorat, (2014) 225 p.
- [5] - L. CHILLASSE, M. DAKKI, M. ABBASSI, Valeurs et fonctions écologiques des zones humides du moy en Atlas (Maroc). *Humedas Mediterraneos*, Valencia (Espagne), (2001) 139 - 146
- [6] - MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS, Critères de qualité de l'eau de surface, 3^e édition, Québec, Direction de suivi de l'environnement de l'état, (2013) 2 p.
- [7] - AFRIQUE CONSEIL, Monographie communale de Lokossa, (2006) 10 - 12 p.
- [8] - G. ETENE, Pressions anthropiques et dégradation environnementale autour des petits lacs du Département du Mono au Bénin en Afrique de l'Ouest. *Revue scientifique des Masters Intégration*

- Régionale et Développement (MIRD) de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH) de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), (2016)
- [9] - J. RODIER, B. LEGUBE, N. MERLET, L'analyse de l'eau, Zd Dunod, Vol. 4, (2009) 78 - 1368
- [10] - J. LORENZEN, Determination of chlorophyll and pheo-pigment: Spectrophotométric equation. *Limnology and océanography*, Vol. 12, issue2, (1967) 343 - 346 p.
- [11] - A. ILTIS, Les algues, paris : *ORSTOM*, (1980) 9 - 61
- [12] - P. BOURRELLY, Les algues d'eau douce, algues vertes, edition boubée ; Nouv èd rev. Et augm edition, (1990) 43 - 77
- [13] - J. DE VILLERS, M. SQUILBIN, C. YOURASSOWSKY, Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, (2005) 1 - 3 p.
- [14] - A. CARMICHAEL, N. MAHMOOD, E. HYDE, Natural toxins from cyanobacteria (blue-grenn agae). *Marine Toxins, Origin, Structure and Molecular Pharmacology*, (1990) 33 p.
- [15] - N. GROGA, Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, (2012) 350 p.
- [16] - L. ASSOUGNO, H. AGADJIHOUEDE, K. KOKOU, P. LALEYE, Caractérisation physico-chimique et diversité du peuplement phytoplanctonique des mares au sud de la réserve de faune de Togodo (sud-Togo). *International journal of biological and chemical science*, Vol. 11, (4) (2017) 1920 - 1936
- [17] - L. SAHLI, Evaluation du niveau de contamination par le cadmium, le chrome, le plomb et le manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Roripa nasturium aquaticum*) dans l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Thèse de Master en ecologie, université de constantine, (2002) 126 p.
- [18] - CONSEIL REGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT DES LAURENTIDES, Rapport d'interprétation des résultats 2009-2010. Lac des Becs-Scie, Municipalité de Saint-Sauveur. Suivi complémentaire de la qualité de l'eau du programme Bleu Laurentides, (2011) 24 p.
- [19] - L. ASSOUGNO, H. AGADJIHOUEDE, K. KOKOU, P. LALEYE, Caractérisation physico-chimique et diversité du peuplement phytoplanctonique des mares au sud de la réserve de faune de Togodo (sud-Togo). *International Journal of Biological and Chemical Science*, Vol. 11, (4) (2017) 1920 - 1936
- [20] - J. DE VILLERS, M. SQUILBIN, C. YOURASSOWSKY, Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, (2005) 1 - 3 p.
- [21] - M. HAMAIDI, F. HAMAIDI, A. ZOUBIRI, F. BENOAKLIL, Y. DHAN, Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques et résultats préliminaires sur les blooms toxiques les cyanobactéries dans le barrage de Ghrib (Ain Defla-Algérie). *European Journal of Scientific Research*, 32 (3) (2009) 369 - 380
- [22] - O. KAMBIRE, A. ADINGRA, S. EBLIN, A. KAKOU, R. KOFFI-NEVRY, Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la côte d'ivoire : la lagune aby, *Larhyss journal*, 20 (2014) 95 - 110
- [23] - E. EWA, A. IWARA, J. ADEYEMI, E. EJA, A. AJAKE, C. OTU, Impact of Industrial Activities on Water Quality of Omoku Creek, *Sacha J Environ Studies*, 1 (2) (2011) 8 - 16
- [24] - N. ROSSI, Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (cuivre, plomb, cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (toulon, France), thèse de doctorat, université du sud Toulon-VAR, (2008)
- [25] - C. RAPPEL, La chlorophylle a, pour les algues, Environnement Canada, (2005) 67 p.
- [26] - M. DAOUDA, Méthodologie et résultats du Diagnostic de l'eutrophisation du Lac Nokoué (Benin). Thèse de doctorat, l'université de LIMOGES, (2010) 157 p.
- [27] - B. DUSSART, *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. 2ème édition. Collection « faunes et flores actuelles », (1992) 680 p.

- [28] - N. GROGA, Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, (2012) 350 p.
- [29] - U. SOMMER, F. SOMMER, H. FEUCHTMAYR, T. HANSEN, The Influence of mesozooplankton on phytoplankton nutrient limitation : a mesocosm study with Northeast Atlantic plankton. *Protist*, 155 (2004) 295 - 304
- [30] - J. ZANDAGBA, F. ADANDEDJI, B. LOKONON, A. CHABI, O. DAN, D. MAMA, Application Use of Water Quality Index (WQI) and Multivariate Analysis for Nokoué Lake Water Quality Assessment, *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1 (4) (2018) 117 - 127
- [31] - A. KOUASSI, Taxinomie, composition floristique et dynamique spatio-saisonnaire des algues périphytiques de la retenue d'eau d'adzopé (côte d'ivoire), laboratoire de botanique, thèse unique présentée à l'ufr Biosciences pour obtenir le titre de docteur de l'université Félix Houphouët-Boigny, (2013) 206 p.
- [32] - C. REYNOLDS, S. REYNOLDS, F. MUNAWAR, M. MUNAWAR, The regulation of phytoplankton population dynamics in the world's largest lakes. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3 (2000) 1 - 21
- [33] - I. LAVOIE, I. LAURION, A. WARREN, W. VINCENT, Les fleurs d'eau de Cyanobactéries. *Revue de littérature*. Institut national de la recherche scientifique, rapport, 916 (xiii) (2007) 124 p.
- [34] - L. ASSOUGNO, H. AGADJIHOUEDE, K. KOKOU, P. LALEYE, Caractérisation physico-chimique et diversité du peuplement phytoplanctonique des mares au sud de la réserve de faune de Togodo (sud-Togo). *International Journal of Biological and Chemical Science*, Vol. 11, (4) (2017) 1920 - 1936
- [35] - R. NICHOLLS, Coastal megacities and climate change. *GeoJournal*, 37 (1995) 369 - 379