

Journal of Applied Biosciences 170: 17752– 17774  
ISSN 1997-5902

## Physico-chimie et pollution organique du lac Nokoué au Sud du Bénin.

Houéyi Bénédicte Priscilia CAPO-CHICHI<sup>1</sup>, Delphine ADANDEDJAN<sup>1</sup>, Thierry Matinkpon AGBLONON HOUELOME<sup>1</sup>, Philippe LALEYE<sup>1</sup>.

Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture (LHA)/Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). 01 BP 526 Recette principale, Cotonou 01.

Auteur correspondant : [houeyi07@gmail.com](mailto:houeyi07@gmail.com).

Submitted on 13<sup>th</sup> January 2022. Published online at [www.m.elewa.org/journals/](http://www.m.elewa.org/journals/) on 28<sup>th</sup> February 2022  
<https://doi.org/10.35759/JABs.170.7>

### RÉSUMÉ

*Objectif* : L'objectif de ce travail est de déterminer la qualité physico-chimique et le niveau de pollution organique du lac Nokoué soumis à une forte pression anthropique.

*Méthodologie et résultats* : Les données ont été collectées suivant un échantillonnage saisonnier de mars 2019 à février 2021 dans 11 stations du lac. A chaque station, 9 paramètres physico-chimiques ont été mesurés in-situ dans le lac et 5 sels dissouts ont été dosés au laboratoire. Les échantillons de sédiments ont été collectés au moyen d'une benne Eckman. La proportion des classes granulométrique des sables du lac Nokoué a été déterminée. L'indice de Pollution Organique et l'état trophique du lac ont été déterminés. Une Analyse en Composantes Principales a été effectuée. Les résultats de l'analyse granulométrique ont montré que les limons et argiles ainsi que les sables fins sont abondants avec des taux respectifs de 48,27% et 21,84%. Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique ont varié dans l'ensemble des stations de 3,75 à 2, indiquant une pollution organique modérée à forte. Les résultats issus de la détermination de l'état trophique du lac ont montré que le lac est hypereutrophe. L'Analyse en Composantes Principales effectuée sur les paramètres physico-chimiques a indiqué l'accumulation de forts taux de nitrites, de phosphates, d'ammonium au niveau des stations où l'indice de pollution organique est élevé.

*Conclusion et application des résultats* : En somme, le lac Nokoué présente une forte pollution organique. Toutefois, des études plus complètes pourront aider à disposer d'une base de données suffisante pour aider à prendre des mesures pour une gestion rationnelle et durable de cet écosystème. Ces résultats constituent une fondation pour l'élaboration d'un plan de gestion durable du lac Nokoué.

**Mots clés** : Sud Bénin, Lac Nokoué, sédiments, sels dissouts, pressions anthropiques.

**ABSTRACT**

*Objective:* To determine the physico-chemical quality and the level of organic pollution of Lake Nokoué subjected to strong anthropogenic pressure.

*Methodology and results:* The data were collected following a seasonal sampling from March 2019 to February 2021 in 11 stations of the lake. At each station, 9 physico-chemical parameters were measured *in-situ* in the lake and 5 dissolved salts were assayed in the laboratory. Sediment samples were taken with an Eckman grab for particle size analysis. The proportion of the grain size classes of the sands of Lake Nokoué was determined. The Organic Pollution Index and the trophic state of the lake were determined. A Principal Component Analysis was performed. The results of the particle size analysis showed that silts and clays as well as fine sands are abundant with respective rates of 48.27% and 21.84%. Pollution Index values varied across stations from 3.75 to 2, indicating moderate to heavy organic pollution. The results from the determination of the trophic state of the lake showed that the lake is hypereutrophic. The Principal Component Analysis carried out on the physicochemical parameters indicated the accumulation of high levels of nitrites, phosphates, ammonium at the stations where the organic pollution index is high.

*Conclusion and application of results:* In short, Lake Nokoué presents a strong organic pollution. However, more comprehensive studies may help to have a sufficient database to help take measures for a rational and sustainable management of this ecosystem. These results provide a foundation for the development of a sustainable management plan for Lake Nokoué.

**Keywords:** south Benin, Lake Nokoué, sediments, dissolved salts, anthropogenic pressures.

**INTRODUCTION**

Les estuaires et les zones côtières constituent des zones à forts enjeux stratégiques pour les économies et pour l'environnement (Amara, 2011). Ils sont considérés comme des écosystèmes de productivité élevée abritant une forte biodiversité de crustacés et de poissons. En plus du rôle central dans le maintien de la biodiversité, les sociétés humaines bénéficient des biens et des services que fournissent les milieux lagunaires. Mais de nos jours, ils sont soumis à de fortes pressions anthropiques notamment, l'urbanisation, le tourisme, l'agriculture, la pêche, l'expansion industrielle et les exploitations minières (Bloundi, 2005 ; Ayah, *et al.*, 2012 ; 2015). Ces activités sont à l'origine des rejets de polluants organiques et inorganiques qui contribuent à la dégradation de ces hydrosystèmes. Malgré leur importance et l'intensité des menaces auxquelles ils font face, les écosystèmes aquatiques ne bénéficient que d'une très faible part des évaluations environnementales et du suivi à l'échelle de la planète (Amis *et al.*, 2007). Au

Bénin, le lac Nokoué n'est pas épargné des fortes pressions anthropiques que subissent les milieux lagunaires et estuariens. L'accélération de la dégradation des ressources, l'érosion des bassins-versants, la destruction des berges, l'eutrophisation des eaux, le rejet des eaux usées, la disparition des frayères naturelles, la construction d'ouvrages sont des pressions anthropiques qui altèrent l'intégrité du lac Nokoué (Gnohossou, 2006 ; Odountan et Abou, 2015). La sauvegarde de ces milieux, la préservation des services écosystémiques et la protection de la santé publique, nécessitent la connaissance des caractéristiques physiques et chimiques de leurs eaux (Dufour, 1982). Cette évaluation des caractéristiques environnementales au lac Nokoué n'est pas récente et nécessite une mise à jour des connaissances du milieu, surtout avec l'évolution des activités au tour du lac ces dernières années (Lalèyè, 1995 ; Villanueva, 2004 ; Gnohossou, 2006 ; Niyonkuru, 2007 ; Mama, 2010). La connaissance du fonctionnement sédimentaire, chimique et

physique des lagunes constitue un élément primordial pour leur aménagement et une base d'évaluation des changements de leur riche biodiversité (Tossou, 2019). Les conditions abiotiques des systèmes aquatiques influencent la structuration spatio-temporelle des organismes (Agblonon Houelome *et al.*, 2017). Ainsi, dans ce travail l'analyse granulométrique des sédiments a été couplée à

l'étude environnementale physico-chimique du lac afin de mettre à la disposition des scientifiques et des aménagistes un outil de gestion durable de ce plan d'eau. L'objectif de ce travail est de caractériser la variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et granulométriques, puis de déterminer l'état de pollution organique et trophique du lac.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

**Milieu d'étude :** Le lac Nokoué est Situé au Sud-Est du réseau lagunaire béninois (6°25' N, 2°36' E) (Figure 1). Il est le plus grand plan d'eau du Bénin et couvre une superficie de 150 km<sup>2</sup> (Lalèyè, 1995 ; Niyonkuru, 2001 ; Villanueva, 2004 ; Niyonkuru et Lalèyè, 2010). D'une longueur de 20 km dans sa direction Est-Ouest et d'une largeur de 11 km dans sa direction Nord-Sud, il représente le plus large plan d'eau de la république du Bénin et le plus important du point de vue de son aménagement (Lawani, 2013). Il est relié à la Lagune de Porto-Novo par le canal de Totchè et est alimenté en eau douce par le fleuve Ouémé et la rivière Sô (Lalèyè, 1995 ; Niyonkuru, 2001 ; Niyonkuru et Lalèyè, 2010 ; Bossou, 2013). Il subit l'effet des eaux usées

provenant d'Abomey-Calavi, des collecteurs d'eau pluviale de la ville de Cotonou et du chenal de Cotonou par lequel arrive l'eau de mer (Mama, 2010).

Onze (11) stations ont été retenues pour l'étude sur le Lac Nokoué (Figure 1). La collecte des données a été faite sur deux années (mars 2019 – février 2021) en tenant compte des saisons hydrologiques du Sud-Bénin :

- Petite saison sèche : fin-juin à mi-septembre
- Petite saison des pluies : mi-septembre à mi-novembre
- Grande saison sèche : mi-novembre à mi-février
- Grande saison des pluies : mi-février à fin-juin.

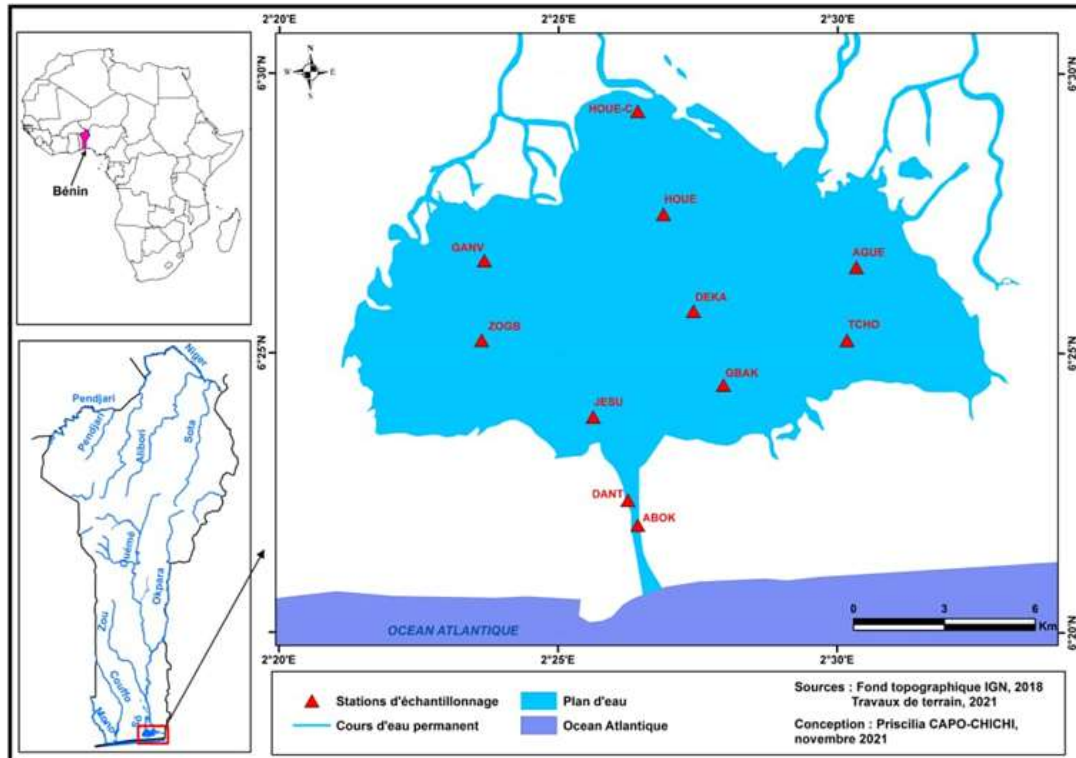


Figure 1 : Différentes stations échantillonnées sur le lac Nokoué.

### Collecte des données

#### Mesure des paramètres physico-chimiques :

Un disque de Secchi muni d'une corde graduée a été utilisé pour mesurer la transparence et la profondeur de l'eau au niveau des stations. Un réfractomètre a été utilisé pour mesurer la salinité. Les mesures de température, de pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous et du TDS ont été réalisées avec des appareils de mesures physico-chimiques de marque HANNA. Les mesures ont été prises entre 7h et 9h. La vitesse en surface ( $V_s$ ) de l'eau a été mesurée en utilisant un flotteur. Un chronomètre a été utilisé pour évaluer le temps que met le flotteur pour parcourir une distance de 1 m mesurée au décimètre. Pour réduire le biais de la mesure de la vitesse de surface, cet exercice a été répété trois fois. La vitesse est égale à la distance parcourue (1 m) rapportée au temps moyen (en secondes). La vitesse du courant  $V_c$  a été tirée selon la relation :  $V_c = 0,80 \times V_s$  (Adandédjan, 2012). Elle est exprimée en cm/s.

#### Prélèvement d'échantillon d'eau et de

**sédiments :** Dans chaque station, un échantillon d'eau brute a été prélevé dans une bouteille plastique de 1500 mL préalablement rincée avec l'eau de la station. Ces échantillons d'eau sont destinés au dosage des sels dissous que sont : les nitrites, les nitrates, les phosphates, l'ammonium et le phosphore totale. Ils ont été ensuite mis dans une glacière contenant de la glace pour leur acheminement au laboratoire. L'échantillonnage du sédiment a été réalisé avec la benne Eckman à chacune des stations. Les sédiments collectés sont emballés dans les sachets polyéthylène et étiquetés avant d'être transportés au laboratoire. La non perturbation de l'échantillon à la remontée et la pénétration modérée dans la vase rendent cet échantillonneur très pratique pour l'étude des sédiments superficiels.

#### Dosage des nutriments et mesure de la

**DBO5 :** Les prélèvements d'eau convoyés au laboratoire ont fait l'objet de dosage des nutriments : les nitrites, les nitrates, les

phosphates, l'ammonium et le phosphore total. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre Hach Lange DR 2800. La demande biologique en oxygène (DBO), constitue une mesure de la pollution des eaux par les matières organiques. C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour l'oxydation et la dégradation des matières organiques présentes dans l'eau usée. Elle s'exprime en milligramme d'oxygène par litre (mg O<sub>2</sub>/L). Sa mesure a été faite par la méthode respirométrique OxiTop dans une enceinte thermostatée (ou un DBO mètre) à 20°C pendant cinq jours. En effet, 428 mL de chaque échantillon ont été prélevés dans des bouteilles en verre munies d'un récipient contenant de l'hydroxyde de potassium afin d'emprisonner le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) rejeté par les micro-organismes. L'incubateur enregistre chaque jour la quantité de CO<sub>2</sub> et le traduit par un programme qui lui est incorporé en quantité de dioxygène absorbé.

**Traitement et tamisage des sédiments :** Au laboratoire, les échantillons débarrassés des coquilles et débris végétaux ont été étuvés à 60 °C pour la déshydratation. Une masse de 200 g de chaque échantillon de sédiments a été prélevée, puis passée à un tamisage humide sur un tamis à mailles carrées, d'arêtes égales à 50 µm. La fraction grossière retenue est séchée à l'étuve, puis pesée sur une balance de précision. Le refus subit un tamisage à sec sur une colonne de tamis de la série AFNOR d'arêtes décroissantes : 2 mm ; 1 mm ; 0,5 mm ; 0,25 mm ; 0,125 mm ; 0,063 mm. Le tamisage à sec est effectué par un appareil Rotap de type « Bioblock Scientific » pendant 15 minutes avec une amplitude de 70 vibrations/minute. Chaque refus de tamis est pesé et la masse enregistrée à des fins statistiques.

**Analyse statistique des données**

**Analyse granulométrique :** Elle est réalisée au laboratoire pour évaluer la répartition quantitative de chaque classe de particules élémentaires constituant les échantillons.

Après le passage de l'échantillon dans l'appareil Rotap de type « Bioblock Scientific », chacune des fractions retenues par les différents tamis est pesée et les pourcentages respectifs sont calculés par rapport à la totalité du sédiment traité suivant la formule ci-après :

$$Xi = \frac{mi}{mt} \times 100$$

Où Xi : pourcentage de chaque classe granulométrique ; mi : masse en g de chaque classe granulométrique et mt : masse totale de sédiment analysé.

Les pourcentages de tamisats cumulés de chaque tamis sont calculés. Les résultats sont ensuite traduits par une courbe granulométrique. Le logiciel Origin 2019 a été utilisé.

La proportion des classes granulométriques des sables du lac Nokoué a été également déterminée. Les différentes classes granulométriques utilisées à cet effet sont celles de Wentworth (1922) et de Chamley (2000).

**Analyse statistique des données physico-chimiques :** Le test de normalité de Shapiro-Wilks a été utilisé pour tester la distribution des valeurs des paramètres physico-chimiques. A l'issue de ce test, celui de Anova a été employé lorsque les valeurs suivent une distribution normale et celui de Kruskal-Wallis a été utilisé dans le cas contraire pour tester l'hétérogénéité des valeurs des paramètres entre les stations et les saisons. Les tests ont été réalisés avec logiciel STATISTICA version 6. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques pour établir la typologie abiotique des stations du milieu d'étude. Cette analyse a été faite avec le logiciel R.

**Indice de Pollution Organique :** L'Indice de Pollution Organique (IPO) (Leclercq et Maquet, 1987 ; Leclercq, 2001) indique le degré d'altération des eaux par des variables chimiques révélatrices de pollution organique du milieu. Il est calculé à partir de 4 paramètres

répartis en 5 classes (tableau 1). La valeur du paramètre obtenue est comparée aux valeurs du tableau pour connaître le numéro de la classe à laquelle elle appartient. L'IPO pour un échantillon est égale à la moyenne des classes

des paramètres. Il est donné par la formule suivante :

$$IPO = (\sum_{k \neq 0}^i Ck, \dots, Ci)/n$$

Avec Ci : le numéro de la classe du paramètre et n : le nombre de paramètres analysés.

**Tableau 1** : Limite des classes pour le calcul de l'Indice de Pollution Organique, (Leclercq, 2001).

Paramètres Classes	NH4+ (mg/L)	NO2- (µg /L de N)	PO43- (µg /L)	DBO5 (mg/L)	Moyennes des classes	Niveau de pollution organique
5	< 0,1	≤ 5	≤ 15	< 2	5,0 – 4,6	Nulle
4	0,1 - 0,9	6 - 10	16 - 75	2 – 5,0	4,5 – 4,0	Faible
3	1 - 2,4	11 – 50	76 - 250	5,1 - 10	3,9 – 3,0	Modérée
2	2,5 - 6	51 – 150	251 - 900	10,1 - 15	2,9 – 2,0	Forte
1	> 6	> 150	> 900	> 15	1,9 – 1,0	Très forte

**Détermination de l'état trophique :** Pour caractériser l'état trophique du lac, le système élaboré par l'O.C.D.E, (1982) et Grogga (2012) (Tableau 2), a été utilisé. Ce système combine l'information concernant l'état des nutriments et la biomasse algale et fournit une base pour l'évaluation de l'état trophique pour la gestion

des écosystèmes aquatiques. L'information acquise permet l'échange et la comparaison au niveau international (Bartram *et al.*, 1999). Il prend en compte les paramètres suivants : le phosphore total (PT), la chlorophylle a (Chl a) et la transparence (Secchi).

**Tableau 1:** Valeurs limites du système de classification trophique des eaux selon l'O.C.D.E. (1982). m : moyenne annuelle ; max : valeur maximale ; min : valeur minimale.

État trophique	Secchi m (m)	Secchi min (m)	Chl a m (mg.m-3)	Chl a max (mg.m-3)	PT m (mg.m-3)
Oligotrophe	≥ 6	≥ 3	≤ 2,5	≤ 8	≤ 10
Mésotrophe	6 - 3	3 – 1,5	2,5 - 8	8 - 25	10 - 35
Eutrophe	3 – 1,5	1,5 – 0,7	8 - 25	25 - 75	35 - 100
Hypereutrophe	≤ 1,5	≤ 0,7	≥ 25	≥ 75	≥ 100

## RÉSULTATS

### Classes granulométriques des sédiments :

Les proportions des sables granulométriques du lac Nokoué (figure 2) montrent que les limons et argiles sont abondants et représentent 48,27%. Viennent ensuite les sables fins avec 21,84%. Les graviers (8,75%) et les sables très fins (6,18%) sont de très faibles proportions. Par contre, les sables grossiers sont assez bien représentés (11,16%).

Les sédiments de fond du lac sont repartis en quatre type de faciès : le faciès de sable, le

faciès de sable vaseux, le faciès de vase sableuse et le faciès de vase.

- Le faciès de sable : Il se rencontre à l'entrée du chenal de Cotonou. Il recouvre 9,09% du lac. Il s'agit des sables grossiers à sables fins (Abokikodji). Il s'accumule à la faveur des vagues.

- Le faciès de sable vaseux : Il est observé au centre du lac en quittant l'extrême Nord du lac pour le Chenal de Cotonou (Houédogbadji, Centre Houédo-Gbadji, Dékanmey et Gbakpodji). Il s'agit

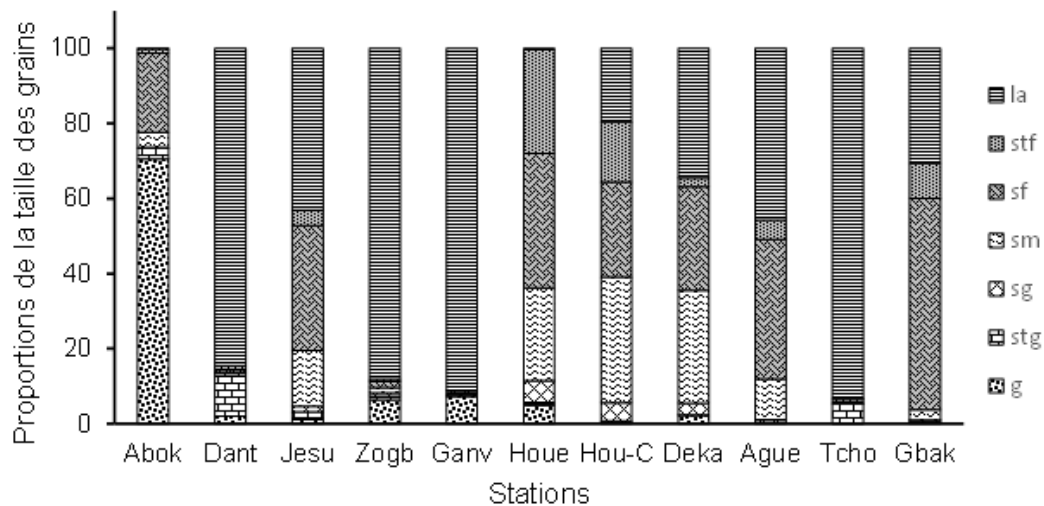
essentiellement des sables moyens à fins et des sables fins à limono-argileux. Il recouvre 36,36% des stations du lac.

- Le faciès de vase sableuse : Il est présent sur 27,27% des stations du lac. Il se rencontre dans le chenal de Cotonou (Dantokpa), de même qu'à l'Est (Jesuko) et à l'Ouest du lac (Aguégué). Il s'agit des argiles limoneuses à sables fins.

Le faciès de vase : Il est observé au niveau des stations Ganvié, Zogbo-Ménontin et Tchonvi.

Il recouvre 27,27% des stations du lac. On observe au lac Nokoué un gradient de répartition avec des dépôts sableux du côté de l'océan et des dépôts de plus en plus fin vers le continent. Il est d'origine fluviatile.

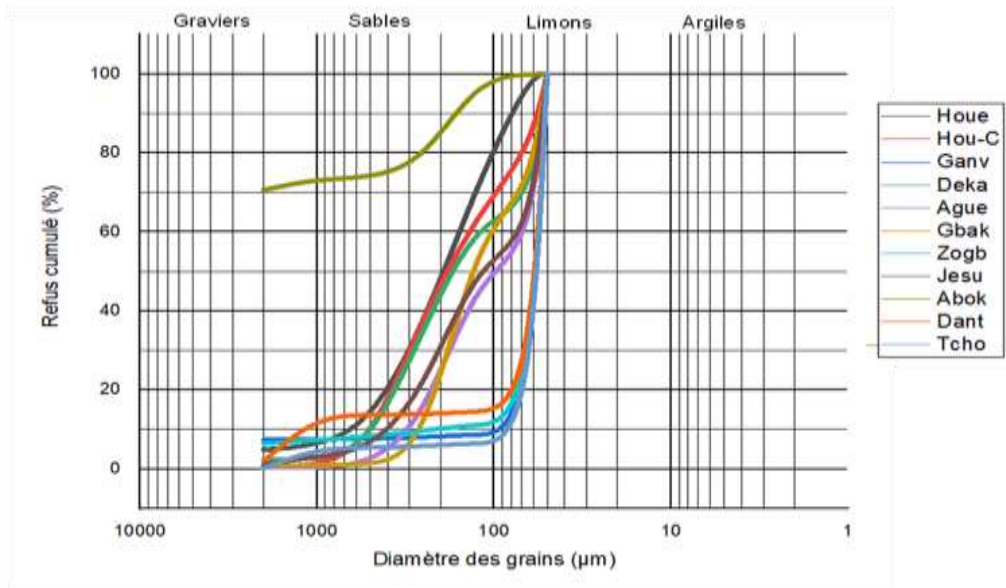
On observe au lac Nokoué un gradient de répartition avec des dépôts sableux du côté de l'océan et des dépôts de plus en plus fin vers le continent.



**Figure 2 :** Proportion des classes granulométriques des sables du lac Nokoué (g : gravier ; stg : sable très grossier ; sg: sable grossier ; sm : sable moyen ; sf : sable fin ; stf : sable très fin ; la : limon et argile ; Abok = Abokikodji ; Dant = Dantokpa ; Jesu = Jesuko (Ste Cécile) ; Zogb = Zogbo-Ménontin ; Ganv = Ganvié-Sotchanhoué ; Houe = Houédo-Gbadji ; Hou-C = Centre Houédo-Gbadji ; Dek = Dékanmey ; Ague = Aguégué zounta ; Tcho = Tchonvi ; Gbak = Gbakpodji).

**Analyse granulométrique :** L'analyse des courbes granulométriques des sédiments permet de mieux comprendre les caractéristiques des sédiments. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sables étudiés présentent des allures quasi-sigmoïdes

(en forme de S) à faible pente. Elles sont caractéristiques des zones continentales calmes où toute particule apportée par l'eau est bloquée à la suite d'un ralentissement de la vitesse du flux hydrique en transit.



**Figure 3 :** Courbes granulométriques des stations d'études. (Abok = Abokikodji ; Dant = Dantokpa ; Jesu = Jesuko ; Zogb = Zogbo-Ménontin ; Ganv = Ganvié-Sotchanhoué ; Houe = Houédo-Gbadji ; Hou-C = Centre Houédo-Gbadji ; Deka = Dékanmey ; Ague = Aguégué zounta ; Tcho = Tchonvi ; Gbak = Gbakpodji)

### Caractéristiques physico-chimie du lac

#### Variations spatiales des paramètres physico-chimiques du lac Nokoué :

Les variations spatiales et la synthèse des résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis des paramètres physico-chimiques du lac Nokoué sont présentées dans le tableau 3. La température maximale a été observée à Houédo-Gbadji. La température minimale a été observée à Aguégué zonta. La valeur la plus élevée de la température a été de 32,40 °C et la plus faible a été de 26,80 °C. La variation spatiale de la température n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). Les valeurs de la transparence mesurées sur le lac Nokoué ont varié de 10 cm à 180 cm. La plus forte transparence a été obtenue proche du marché Dantokpa. La plus faible transparence a été observée à Aguégué zounta. La variation spatiale de la transparence n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La plus faible profondeur (0,43 m) et la plus grande profondeur (6,20 m) ont été notées proche du marché Dantokpa. La variation spatiale de la profondeur est significative ( $p < 0,05$ ). Les valeurs des teneurs en oxygène dissous ont varié de 2,05 mg/L à 8,33 mg/L. La plus forte

teneur en oxygène dissous a été observée à Houédo-Gbadji et la plus faible valeur a été enregistrée à Centre Houédo-Gbadji. La variation spatiale de la teneur en oxygène dissous n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). Quant au pH du lac Nokoué, ses valeurs ont fluctué de 5,90 à Tchonvi à 8,80 à Dékanmey. Le pH n'a pas connu une variation spatiale significative ( $p > 0,05$ ). La salinité de l'eau a varié de 0 g/L à toutes les stations sauf aux stations d'Abokikodji et de Centre Houédo-Gbadji à 33,80 g/L proche du marché Dantokpa. La variation spatiale de la salinité n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La vitesse du courant la plus élevée (52,68 cm/s) a été obtenue à Jesuko et la plus faible (0 cm/s) a été obtenue à Abokikodji. La variation spatiale de la vitesse du courant n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La conductivité la plus élevée (43,90  $\mu\text{S/cm}$ ) a été obtenue à Gbakpodji et la plus faible (2,17  $\mu\text{S/cm}$ ) a été obtenue à Aguégué zounta. La variation spatiale de la conductivité n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). Le taux de solides dissout a varié de 2,17 mg/L à Aguégué zonta à 19,99 mg/L à Dantokpa. La variation spatiale du taux de solides dissout n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).



**Tableau 3 :** Variations spatiales et synthèse des résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis des paramètres physico-chimiques du lac Nokoué.

Paramètres	Abok	Dant	Jesu	Zogb	Ganv	Houe	Hou-C	Deka	Ague	Tcho	Gbak	P	Significativité
Temp (°C)	29,2±0,76	29,63±1,23	30,11±1,55	30,26±0,96	30,81±1,05	30,85±1,3	30,13±0,92	30,48±1,2	29,25±1,69	30,0±1,42	29,95±1,45	0,357	NS
pH	7,34±0,95	7,54±0,42	7,62±0,94	7,65±0,46	7,2±0,84	7,58±0,72	7,67±0,54	7,36±0,95	7,37±0,92	6,73±0,75	7,24±0,53	0,647	NS
Cond (µS/cm)	12,51±2,39	11,95±4,6	12,68±4,66	12,16±2,99	12,57±1,6	14,73±7,96	13,87±7,77	15,28±11,0	15,66±8,34	17,86±7,17	17,02±13,64	0,812	NS
TDS (mg/L)	11,68±1,3	13,23±5,15	12,36±4,3	12,3±2,76	12,77±1,7	12,39±5,06	10,99±1,91	12,2±4,69	12,61±5,82	14,85±3,05	11,98±3,69	0,069	NS
Sali (g/L)	13,51±12,7	9,6±13,71	10,68±14,8	10,31±11,4	8,06±9,69	4,85±5,52	5,5±5,24	5,6±7,18	4,38±5,46	4,48±6,8	5,9±8,34	0,883	NS
O2dis (mg/L)	6,31±1,08	4,89±0,94	5,48±1,16	5,42±1,26	5,0±1,86	4,96±1,81	3,93±2,05	4,69±1,4	5,26±1,79	4,76±1,43	5,08±2,05	0,316	NS
Transp (cm)	91,5±65,7	59,66±63,5	69,66±32,7	90,66±44,2	96,66±42,7	64,0±8	85,83±41,5	93,66±20,6	56,16±28,9	68,0±21,79	97,0±39,64	0,533	NS
Prof (m)	2,57±1,04	3,41±2,3	1,16±0,22	1,54±0,15	1,6±0,37	1,23±0,35	1,69±0,41	1,59±0,22	1,56±0,52	1,63±0,27	1,8±0,31	0,002	***
Vites (cm/s)	17,73±10,4	24,24±6,28	25,03±17,2	14,96±10,4	14,59±5,4	13,2±5,24	13,13±9,62	18,14±16,8	23,43±12,8	21,13±9,88	21,18±14,94	0,400	NS

**Légende :** Temp= température ; transp = transparence ; O2dis = concentration en oxygène dissout ; Prof = profondeur ; Cond = Conductivité ; TDS = taux de solides dissout ; Vites = Vitesse du courant ; Sali= Salinité ; Abok = Abokikodji ; Dant = Dantokpa ; Jesu = Jesuko (Ste Cécile) ; Zogb = Zogbo-Ménontin ; Ganv = Ganvié-Sotchanhoué ; Houe = Houédo-Gbadji ; Hou-C = Centre Houédo-Gbadji ; Deka = Dékanmey ; Ague = Aguégué zonta ; Tcho = Tchonvi ; Gbak = Gbakpodji ; NS= Non significatif ( $p>0,05$ ) et \*\*\* = Significativité au seuil de 1% ( $p<0,001$ ). P = Probabilité.

**Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques du lac Nokoué :** Les variations saisonnières et la synthèse des résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis des paramètres environnementaux ont été présentées dans le tableau 4. La valeur la plus élevée de la température a été de 32,40 °C et la plus faible a été de 26,80 °C. La valeur maximale a été enregistrée à la grande saison sèche et la plus faible à la grande saison des pluies. La température a connu une variation significative entre les saisons ( $p < 0,05$ ). Quant à la transparence la valeur la plus faible (10 cm) a été notée à la petite saison des pluies et la valeur la plus forte (180 cm) a été mesurée à la grande saison sèche. En fonction des saisons, la transparence a connu une fluctuation significative ( $p < 0,05$ ). Les valeurs minimales (0,43 m) et maximales (6,20 m) de la profondeur ont été enregistrées à la grande saison sèche. La profondeur a connu une variation saisonnièrement significative ( $p < 0,05$ ). Les valeurs de pH ont varié de 5,90 à 8,80. La plus forte valeur a été enregistrée à la grande saison sèche et la plus faible à la grande saison des pluies et à la grande saison sèche. D'une saison à une autre, le pH a fluctué de façon significative ( $p < 0,05$ ). Les valeurs

des teneurs en oxygène dissous ont varié de 2,05 mg/L à 8,33 mg/L. La valeur la plus faible a été obtenue à la petite saison des pluies et la valeur la plus élevée à la grande saison sèche. Les teneurs en oxygène dissous n'ont pas varié de manière significative ( $p > 0,05$ ) d'une saison à une autre. La salinité de l'eau a varié de 0 g/L à la grande saison des pluies et à la grande saison sèche à 33,80 g/L à la grande saison sèche. La variation spatiale de la salinité est significative d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ). La vitesse du courant a varié de 0 cm/s à 52,80 cm/s. La plus forte valeur a été enregistrée à la petite saison sèche et la plus faible à la grande saison des pluies. D'une saison à une autre, la vitesse du courant a fluctué de façon significative ( $p < 0,05$ ). La conductivité la plus élevée (43,90  $\mu\text{S/cm}$ ) a été obtenue à la grande saison sèche et la plus faible (2,17  $\mu\text{S/cm}$ ) a été obtenue à la petite saison des pluies. La variation saisonnière de la conductivité est significative d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ). Le taux de solides dissout a varié de 2,17 mg/L à la petite saison sèche à 19,99 mg/L à la grande saison sèche. La variation spatiale du taux de solides dissout est significative d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ).

**Tableau 4 :** Variations saisonnières et synthèse des résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis des paramètres physico-chimiques du lac Nokoué.

Paramètres	GSP	GSS	PSP	PSS	P	Significativité
Temp (°C)	29,75 ± 1,42	30,36 ± 1,20	29,11 ± 1,29	30,4 ± 0,85	0,02	*
pH	7,77 ± 0,88	7,57 ± 0,68	6,9 ± 0,53	6,97 ± 0,56	0,00	**
Cond	11,69 ± 2,86	17,13 ± 8,32	13,76 ± 3,37	8,4 ± 4,23	0,00	***
TDS (mg/L)	12,44 ± 3,01	13,57 ± 3,00	13,64 ± 2,96	8,12 ± 3,92	0,00	**
Sal (g/L)	1,91 ± 3,55	12,74 ±	0,31 ± 0,51	4,74 ± 3,75	0,00	***
O2dis	4,9 ± 1,46	5,39 ± 1,67	4,27 ± 0,70	5,1 ± 1,76	0,39	NS
Transp (cm)	92,72 ±	92,66 ±	43,54 ±	61,81 ±	0,00	***
Prof (m)	1,58 ± 1,02	1,89 ± 1,20	1,6 ± 0,43	1,93 ± 0,41	0,03	*
Vites (cm/s)	10,5 ± 8,81	16,91 ± 7,58	33,76 ±	17,8 ± 12,06	0,00	***

**Légende:** Temp= température ; transp = transparence ; O2dis = concentration en oxygène dissous ; Prof = profondeur ; Cond = Conductivité ; TDS = taux de solides dissout ; Vites = Vitesse du courant ; Sali= Salinité GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies et PSS = Petite saison sèche ; NS= Non significatif ( $p > 0,05$ ) ; \* =Significativité au seuil de 5% ( $p < 0,05$ ) ; \*\*= Significativité au seuil de 1% ( $p < 0,01$ ) et \*\*\* = Significativité au seuil de 1‰ ( $p < 0,001$ ). P = Probabilité.

**Variations spatiales et saisonnières des sels dissouts et de la demande biologique en oxygène (DBO5).**

**Variations spatiales des sels dissouts et de la DBO5 :** Les variations spatiales des sels dissouts et de la demande biologique en Oxygène ont été présentées à la figure 4. Le tableau 5 a présenté le résumé des tests de comparaisons de Kruskal Wallis effectués sur les variations spatiales des sels dissouts et de la DBO5 du lac. Les concentrations de l'eau en ions nitrates ont varié de 0,56 mg/L à 17,7 mg/L respectivement à Dékanmey et à Jesuko. La variation spatiale de la concentration en nitrates n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). Concernant le taux des nitrites, sa valeur maximale (2,64 mg/L) a été obtenue à Jesuko et sa teneur minimale (0 mg/L) proche du marché de Dantokpa. La variation spatiale de la concentration de l'eau en nitrites n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La valeur minimale (0,01 mg/L) de la teneur en ammonium de l'eau a été enregistrée à Jesuko, Dékanmey, Aguégué

zounta et la valeur maximale (1,89 mg/L) a été obtenue à Aguégué zonta. La variation spatiale de la concentration de l'eau en ammonium n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). Quant aux concentrations de l'eau en ions phosphates, c'est à Abokikodji que sa valeur maximale a été obtenue (1,89 mg/L) ; sa valeur la plus faible (0,01 mg/L) a été enregistrée à Jesuko. La variation spatiale de la concentration de l'eau en phosphates n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La valeur la plus faible (0,02 mg/L) de la teneur de l'eau en phosphore total de l'eau a été mesurée à Zogbo-Ménontin et à Houédogbadji et la plus forte (9,38 mg/L) a été obtenue à Ganvié-Sotchanhoué. La variation spatiale de la concentration de l'eau en phosphore total n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). La demande biologique en oxygène a varié de 7,96 mg O<sub>2</sub>/L à Centre-Houédogbadji à 31,20 mg O<sub>2</sub>/L au niveau de la station d'Aguégué-Zounta. La variation spatiale de la demande biologique en oxygène n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

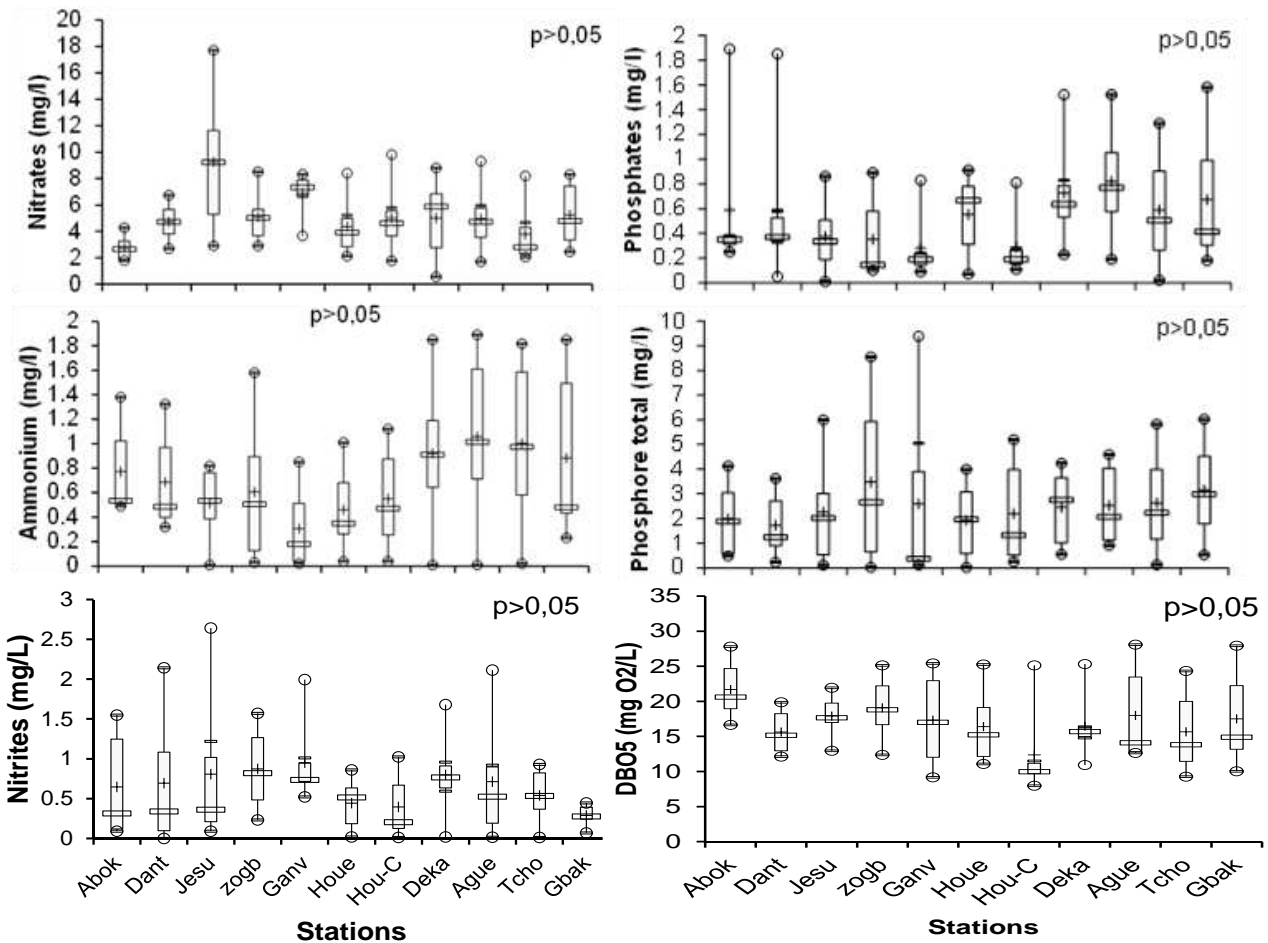


Figure 4 : Variations spatiales des sels dissous et de la DBO5

Tableau 5 : Synthèse des résultats des tests de comparaisons de Kruskal-wallis effectués sur les variations spatiales des sels dissouts.

Paramètres	H	Valeur de p	Significativité
Nitrates (mg/L)	16,24	0,093	NS
Nitrites (mg/L)	9,02	0,530	NS
Ammonium (mg/L)	9,82	0,457	NS
Phosphates (mg/L)	12,90	0,229	NS
Phosphore total (mg/L)	3,48	0,968	NS
DBO5 (mg O2/L)	13,03	0,22	NS

Légende : H= valeur de Fisher, NS = Non significatif

**Variations saisonnières des sels dissouts et de la DBO5 :** Les variations saisonnières des sels dissouts et de la demande biologique en Oxygène ont été présentées à la figure 5. Le tableau 6 a présenté le résumé des tests de comparaisons de Kruskal Wallis effectués sur les variations saisonnières des sels dissouts et

de la DBO5 du lac. Les concentrations de l'eau en ions nitrates ont varié de 0,56 mg/L à 17,7 mg/L respectivement à la grande saison des pluies et à grande saison sèche. Les concentrations de l'eau en nitrates ont varié significativement d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ). Concernant le taux des nitrites, sa valeur

maximale (2,64 mg/L) a été obtenue pendant la grande saison sèche et sa teneur minimale (0 mg/L) pendant la petite saison des pluies. Les concentrations de l'eau en nitrites n'ont pas varié significativement d'une saison à une autre ( $p > 0,05$ ). Les valeurs minimale (0,01 mg/L) et maximale (1,89 mg/L) de la teneur en ammonium de l'eau ont été enregistrée pendant la grande saison sèche. Les concentrations de l'eau en ammonium n'ont pas varié significativement d'une saison à une autre ( $p > 0,05$ ). Quant aux concentrations de l'eau en ion phosphate, c'est pendant la grande saison sèche que sa valeur maximale a été obtenue (1,89 mg/L) ; sa valeur la plus faible (0,01 mg/L) a été enregistrée pendant la grande saison des pluies. Les concentrations de l'eau

en phosphates n'ont pas varié significativement d'une saison à une autre ( $p > 0,05$ ). La valeur la plus faible (0,02 mg/L) de la teneur de l'eau en phosphore total de l'eau a été mesurée pendant la grande saison des pluies et la plus forte (9,38 mg/L) a été obtenue à la grande saison sèche. Les concentrations de l'eau en phosphore total ont varié significativement d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ). La valeur la plus élevée de la demande biologique en oxygène a été de 31,20 mg O<sub>2</sub>/L et la plus faible a été de 7,96 mg O<sub>2</sub>/L. La valeur maximale et la plus faible valeur ont été enregistrées à la petite saison des pluies. La demande biologique en oxygène n'a pas connu une variation significative entre les saisons ( $p > 0,05$ ).

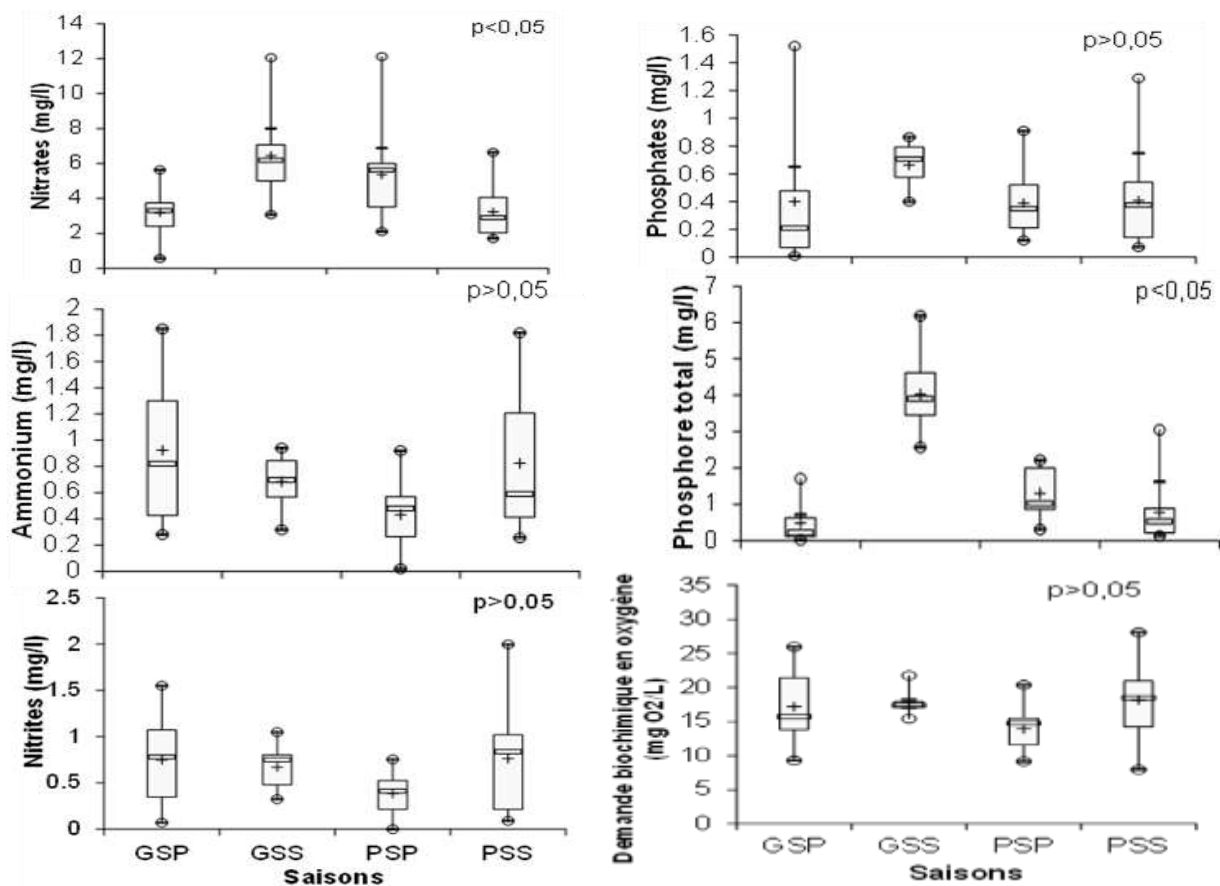


Figure 5 : Variations saisonnières des sels dissouts et de la DBO5

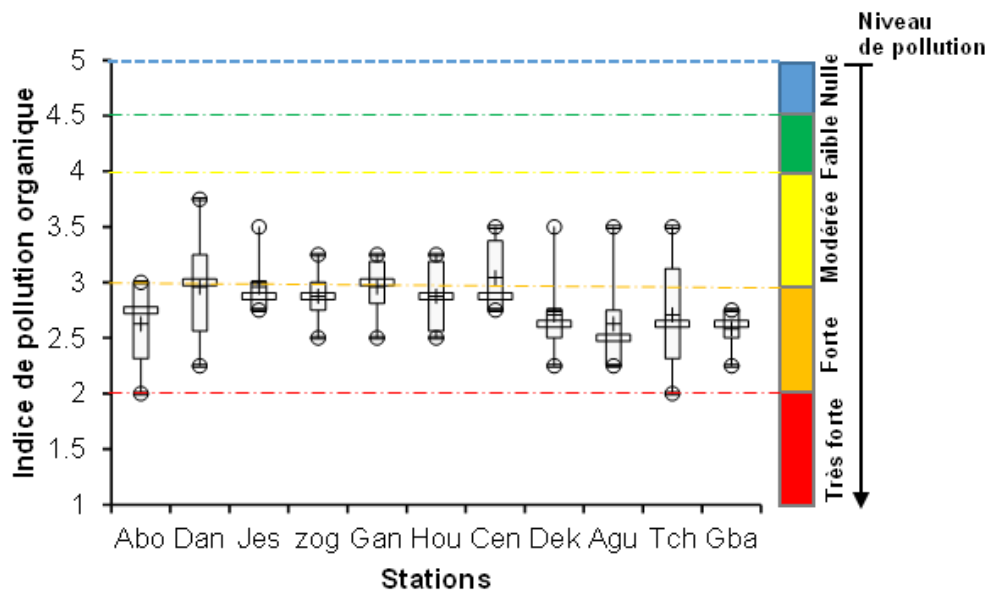
**Tableau 6 :** Synthèse des résultats des tests de comparaisons de Kruskal-wallis effectués sur les variations saisonnières des sels dissouts.

Paramètres	H	Valeur de p	Significativité
Nitrates (mg/L)	18,93	0,000	***
Nitrites (mg/L)	3,24	0,356	NS
Ammonium (mg/L)	4,43	0,219	NS
Phosphates (mg/L)	7,81	0,050	NS
Phosphore total (mg/L)	41,86	0,000	***
DBO5 (mg O2/L)	4,54	0,208	NS

**Légende :** H= valeur de Fisher, NS = Non significatif ; \*\*\* = hautement significatif

**Pollution organique :** Les valeurs de l'Indice de pollution organique varient dans l'ensemble des stations de 3,75 à 2, indiquant une pollution organique modérée à forte (Figure 6). La plus faible valeur (2) a été obtenue aux stations Abokicodji (à l'entrée du chenal de Cotonou) et Tchonvi (extrême Ouest du lac). La plus forte valeur (3,75) a été obtenue à la

station de Dantokpa (chenal de Cotonou). Cet indice n'a pas varié significativement d'une station à une autre. En somme, Les quantités élevées de matières organiques mises en évidence par les faibles valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) (2 – 3,5) montre un état dégradé de la qualité des eaux du lac.



**Figure 6 :** Variations spatiales de l'indice de pollution organique

**État trophique du lac :** Tenant en compte des critères de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (O.C.D.E.), toutes les stations du lac sont hypereutrophes (tableau 7). Ce qui explique l'intensification de la pollution du Lac Nokoué caractérisée par l'augmentation de la biomasse dont la

décomposition par les bactéries induit l'épuisement en oxygène du milieu, la diminution de la transparence de l'eau et l'envasement du plan d'eau dû à l'accumulation de la matière organique non dégradée sur le fond.

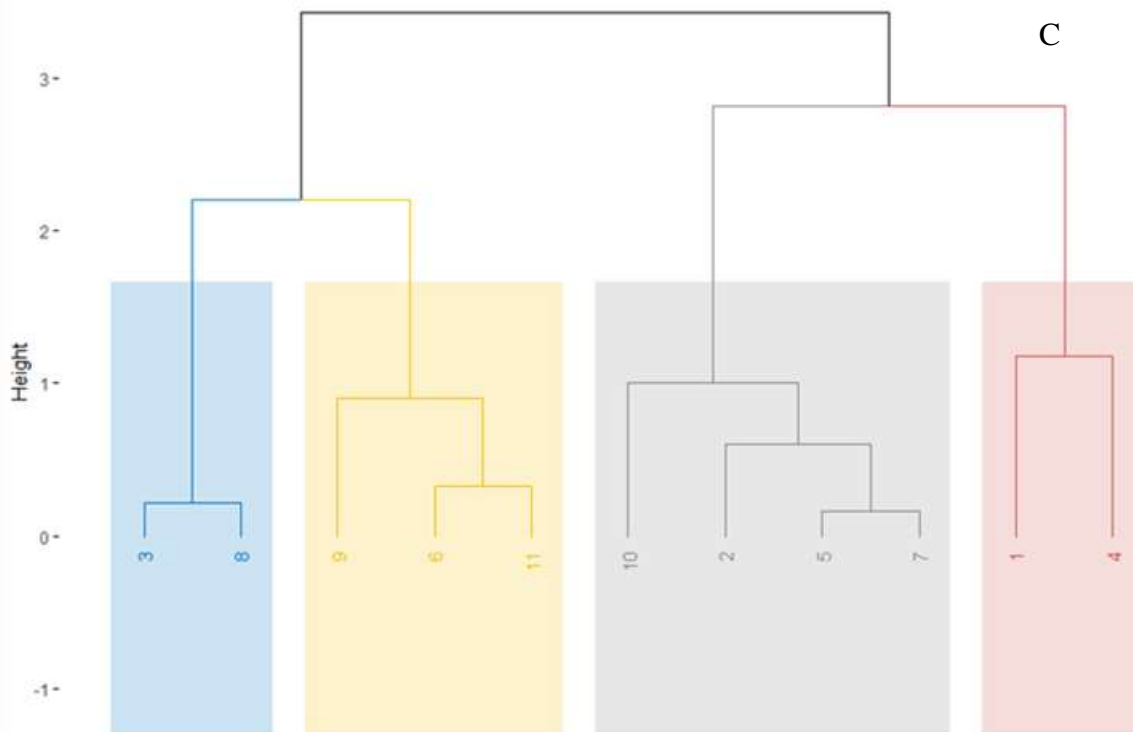
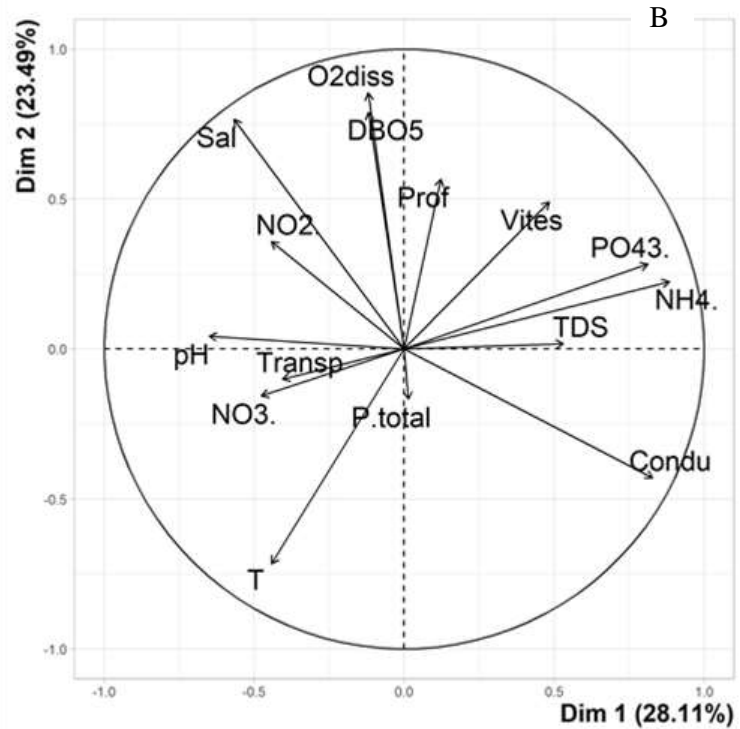
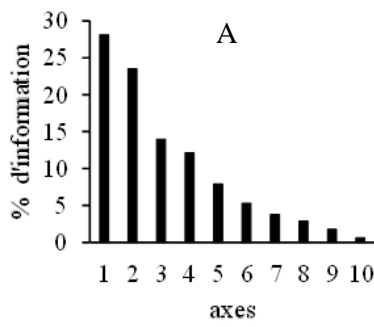
**Tableau 7** : État trophique du Lac Nokoué durant l'étude selon les critères de l'O.C.D.E. (1982)

Indicateurs	Stations										
	Abo	Dan	Jes	Zog	Gan	Hou	Ho-C	Dek	Agu	Tch	Gba
Secchi m (m)	0,91	0,59	0,69	0,90	0,96	0,64	0,85	0,93	0,56	0,68	0,97
Secchi min	0,15	0,15	0,24	0,20	0,20	0,60	0,20	0,60	0,10	0,4	0,6
Chla m (mg.m-3)	25,21	49,5	27,65	27,21	29,75	41,50	57	25,25	102,05	52,60	47,35
Chla max	33,1	67,5	29,7	35,1	41,5	45,21	84,3	35,2	165,6	69,91	72,9
PT m (mg.m-3)	1990	1720	2250	3480	2590	1920	2200	2440	2520	2630	3160
État trophique	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp	Hyp

**Légende** : Hyp = Hypereutrophe, PT = Phosphore total, Cha = Chlorophylle a, Secchi (m) = Transparence de l'eau

**Typologie abiotique** : Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) effectuée à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques ont montré que 51,60% de l'inertie totale des données sont exprimées par les deux premiers axes (Figure 7A). Ces deux axes ont été retenus pour l'expression des résultats de l'ACP. Le cercle de corrélation (Figure 7B) montre que l'axe 1 est corrélé positivement à la conductivité, au TDS, à l'ion ammonium et à l'ion phosphate. Il est corrélé négativement au pH, à la transparence, aux ions nitrates et nitrites. Mais les teneurs en oxygène dissous, la vitesse du courant, la salinité et la profondeur sont corrélés positivement à l'axe 2. La température et le phosphore total sont corrélés négativement à

cet axe. La classification hiérarchique ascendante des individus a révélé quatre groupes de stations. Le premier a regroupé les stations Houédogbadji, Gbakpodji et Aguégou zonta. Le second groupe est constitué des stations de Dantokpa, Centre Houédogbadji, Tchonvi et Ganvié-Sotchanhoué. Le troisième groupe est formé des stations Abokicodji et Zogbo-Menontin et le quatrième, des stations Dékanmey et Jesuko. La prise en compte du cercle de corrélation et de la classification hiérarchique des individus a montré que les stations formant les groupes I et II sont corrélés à l'axe 1 et présentent des eaux polluées. Ce groupe de stations s'oppose aux groupes III et IV.



**Figure 7** : Analyse en Composantes Principales faite à partir des paramètres physico-chimiques des stations. A = Valeurs propres des axes factoriels ; B = Cercle de corrélation ; C = Classification hiérarchique des stations.  
 Légende : 1 : Abokikodji, 2 : Dantokpa, 3 : Jesuko, 4 : Zogbo-Ménontin, 5 : Ganvié, 6 : Houédogbadji, 7 : Centre-Houédogbadji, 8 : Dékanmey, 9 : Aguégué, 10 : Tchonvi, 11 : Gbakpodji



## DISCUSSION

La caractérisation sédimentaire par granulométrie du lac Nokoué a montré une prédominance de la fraction sableuse. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sables étudiés présentent des allures quasi sigmoïdes (en forme de S) à faible pente. Elles sont caractéristiques des milieux lagunaires et des embouchures de cours d'eau (Rivière, 1977 ; Bouden *et al.*, 2009). La sédimentation s'est faite par un dépôt de particules à la suite d'une diminution de la force de l'agent de transport (Rivière, 1977). Cet agent qui était initialement capable de transporter les grains d'une certaine dimension ne l'est plus, suite à une réduction de sa vitesse, donc de sa force de transport ; par conséquent, il abandonne les grains sur place. Cette situation pourrait être causée par la présence dans le lac des barrières occasionnant ainsi le piégeage des particules. Le comblement du lac s'expliquerait non seulement par un phénomène naturel lié à la sédimentation et à l'alluvionnement annuel des crues mais également par la présence dans le lac de barrières telles que les parcs en acadjas. Les sédiments de fond du lac sont repartis en quatre faciès types : le faciès de sable, le faciès de sable vaseux, le faciès de vase sableuse et le faciès de vase. Les travaux de sédimentologie sur le lac Nokoué : détermination des faciès sédimentaires et minéralogie (Texier *et al.*, 1980) montrent que l'étalement des sables se produit en période de crues par les courants qui les répandent vers l'aval de la lagune. La couverture sédimentaire vaseuse de couleur gris-noire, riche en débris végétaux est dû à la prolifération des parcs à poissons qui a énormément contribué au dépôt des particules. La qualité physico-chimique des eaux de surface a toujours été un paramètre incontesté pour leur gestion écologique. L'équilibre écologique des lacs est fonction de leur qualité physico-chimique dépendant d'un certain nombre de facteurs intrinsèques et extrinsèques (Lalèyè, 1995). En effet, la qualité d'une eau est fonction de nombreux

paramètres dont les variations sont déterminantes pour la répartition des organismes vivants. Paramètre essentiel dans l'appréciation de la qualité des eaux, la température de l'eau est directement soumise aux conditions climatiques locales et à l'influence des marées et des saisons climatiques. La température du lac Nokoué est comprise entre 26,80 °C et 32,40 °C. Elle se trouve dans la gamme de température obtenue par Adounvo *et al.*, 2003 ; Lalèyè *et al.*, 2003 et Villanueva, 2004. Les teneurs en oxygène dissous semblent être liées à la température. L'oxygène dissous est essentiel pour la respiration des organismes aquatiques et a donc une influence directe sur le fonctionnement biologique des écosystèmes aquatiques. Dans les milieux estuariens et lagunaires, la diminution de l'oxygène peut provenir de la consommation par les organismes benthiques, de la décomposition de la matière organique et de la présence en suspension d'éléments consommateurs d'oxygène ainsi que de l'arrivée d'eaux pauvres en oxygène (Villanueva, 2004). Ces conditions contribuent, de façon plus ou moins importante, aux déficits d'oxygène du lac Nokoué. Le pH est un facteur limitant dans les écosystèmes aquatiques. C'est l'un des paramètres qui influence le comportement et la répartition des éléments chimiques dans les hydrosystèmes (Chapman et Kimstach, 1996). Le pH a varié de 5,90 à 8,80 ce qui indique une bonne eau de qualité pour l'aquaculture (Kanangire, 2001). Aussi, ce pH est conforme avec l'idée de Mounjid *et al.* (2014) selon laquelle dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8.5. Les travaux de Marcel (2005) ; Alexis (2008) ; Séraphin *et al.* (2008) et Yacoub *et al.* (2008) ont montré que la variation du pH est étroitement liée à celle de la salinité. Les eaux d'origine marine sont basiques et celles d'origine continentale sont acides. La transparence de l'eau est l'un des indicateurs

de qualité de l'eau utilisés pour déterminer l'état trophique d'un plan d'eau. L'influence des vents dominants remet en suspension les particules du sédiment diminuant ainsi la transparence des eaux de surface. La transparence du lac a varié de 10 cm à 180 cm. La variation a été significative entre les saisons ceci s'explique par le phénomène de crues et de décrues qui font varier significativement la transparence au cours de l'année Gnohossou (2006). La profondeur quant à elle est comprise entre 0,43 m à 6,20 m. La valeur la plus élevée de la profondeur a été obtenue à la station de Dantokpa pendant la grande saison sèche. Cette station est dans le chenal de Cotonou. D'après les résultats d'études bathymétriques et sédimentologiques (Texier *et al.*, 1980), le lac Nokoué est peu profonde ; en saison sèche, sa profondeur ne dépasse que 2 m à certains endroits, à l'exception de l'entrée du chenal où les profondeurs se situent entre 8 et 10 m à cause de la descente violente des eaux en période de crue qui déblaient le fond par érosion verticale. Aussi, la variation de la profondeur est tant significative entre les mois qu'entre les stations. Cette observation corrobore les travaux de Lalèyè (1995), Gnohossou (2006). En effet les stations du nord reçoivent progressivement les eaux de la rivière Sô courant août-novembre et les stations du sud reçoivent les eaux venant de la mer à travers le chenal de Cotonou. Ce recrutement des eaux des stations du nord et du sud augmente considérablement la profondeur de l'eau de façon significative dans le temps et dans l'espace. Le phosphore total est un paramètre important de la fertilisation des plans d'eau, il joue un grand rôle dans la croissance planctonique. Ce nutriment est un indicateur pertinent de l'évaluation du niveau trophique des eaux (Mama, 2011). Les concentrations de phosphores du lac sont supérieures à la limite admissible de 0,5 mg/L et peuvent être considérée, comme un indicateur de pollution (Agblonon Houelome, 2017). Les eaux usées domestiques provenant

des habitations environnantes le lac et du marché Dantokpa contiennent des détergents qui sont selon Jen (2002) les sources de phosphore. La distribution de l'ammonium dans un milieu aquatique varie selon le niveau de productivité de l'écosystème et son degré de pollution par la présence de matière organique. Sa présence résulterait de la dégradation aérobie de l'azote organique (protéines, acides aminés, urée...) lequel provient en grande partie des rejets des eaux non épurées. En effet, le  $\text{NH}_4^+$  en lui-même n'est pas nuisible mais peut se transformer sous certaines conditions en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique (Koudénoukpo, 2017). Hébert et Légaré (2000) démontrent que dans un milieu bien oxygéné, l'ammonium est rapidement utilisé et sa concentration est faible. Quant aux nitrates, leur présence dans les plans d'eau est due, soit au lessivage des terres agricoles, soit aux réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et des nitrites (Saad *et al.*, 2004 ; Khalaf *et al.*, 2007, Zinsou, 2016). Selon plusieurs auteurs (Ansa-Asare *et al.*, 2000 ; Li *et al.*, 2009) les activités humaines engendrent une forte concentration de nutriments (azote et phosphore) et contribuent au déséquilibre des mécanismes naturelles de recyclages de ces nutriments dans le milieu aquatique (Sondergaard *et al.*, 2003). La demande biologique en oxygène (DBO), constitue une mesure de la pollution des eaux par les matières organiques. C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la dégradation des matières organiques présentes dans l'eau usée en 5 jours à 20°C et à l'abri de la lumière. L'analyse de la DBO5 est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes (Bremond et Vuichard, 1973 ; Keddari, 2015). La DBO5 de l'eau du lac Nokoué est comprise entre 7,96 mg O<sub>2</sub>/L et 28,08 mg O<sub>2</sub>/L. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Dovonou *et al.*, 2011 et Mama *et al.*, 2011. La valeur la plus grande a

été observée à la petite saison sèche. Cela s'explique par la décomposition des macrophytes dans le lac sous l'effet d'une forte température de l'eau et par l'absence de dilution par les eaux douces (fleuve Ouémé ou eaux de pluie). La décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment. Les quantités élevées de matières organiques mises en évidence par les

faibles valeurs de l'IPO (2 – 3,5) traduisent une forte pollution organique. L'évolution des valeurs de l'IPO montre que cet état dégradé de la qualité des eaux du lac est dû aux rejets des eaux usées domestiques et industrielles (Benbouih *et al.*, 2005). Les valeurs de cet indice s'expliquent par les teneurs très élevées en ammonium et en phosphate (Benzizoune *et al.*, 2004 ; Benbouih *et al.*, 2005). Il urge que les aménagistes prennent des mesures afin d'améliorer la qualité de cet écosystème et de le préserver dans le temps et dans l'espace.

### CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Au terme de cette étude, l'analyse granulométrique a révélé quatre types de faciès au lac Nokoué : le faciès de sable, le faciès de sable vaseux, le faciès de vase sableuse et le faciès de vase. Les faibles valeurs de l'IPO (2 – 3,5) traduisent une forte pollution organique due à la faible minéralisation des matières organiques. Aussi, toutes les stations du lac sont hypereutrophes. En ce qui concerne les paramètres environnementaux, on observe une variation spatiale et saisonnière des paramètres étudiés et qui renforce le résultat selon lequel les eaux du lac sont dégradées. Tenant compte de ce travail préalable, un système

d'évaluation de la qualité des eaux du lac sera mis au point pour un suivi et une gestion durable de cet écosystème pourvoyeur de biens et services pour les populations riveraines. Ces résultats témoignent l'urgence de la mise en place d'un système de gestion et de traitement des eaux usées avant leur déversement dans le lac Nokoué. Afin de préserver les usages que procure cette rivière aux populations riveraines, il importe qu'une approche intégrée de la gestion de celle-ci et de son bassin versant soit instaurée pour sa protection et les organismes vivants qui y habitent.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Université d'Abomey-Calavi qui a financé ce travail dans le cadre de son Programme Fonds Compétitifs de Recherche, 3<sup>ème</sup> phase (PFCR/III) à travers

le projet « Biodiversité et pressions anthropiques sur les ressources vivantes aquatiques des Systèmes Estuariens et Lagunaires du Sud-Bénin (BioSEL) ».

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adounvo U, Lalèyè P, Dauta A, Moreau J, 2003. Facteurs écologiques et production halieutique d'une lagune Ouest africaine : le lac Nokoué au Bénin. Abstract. 3rd International Conference of the Pan African Fisheries Society, Cotonou (Bénin), 10-14 Nov. 2003. PICARTS (Ed.) – Bénin. (Proceedings in press in 'Studies

in Afrotropical Zoology', 2005 - Belgium).

Agblonon Houelome TM, Adandedjan D, Chikou A, Imorou Toko I, Youssao I, Laleye P, 2017. Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. Afrique SCIENCE 13(4) (2017) 35 – 49. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>

- Alexis NY, 2008. Analyse morphologique, sédimentologique et environnement de dépôts des sédiments superficiels des lagunes Adjiri et Potou (Zone littorale de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, p. 145.
- Amis MA, Rouget M, Balmford A, Thuiller W, Kleynhans CJ, Day J, Nel J, 2007. Predicting freshwater habitat integrity using land-use surrogates. *Water SA*, 33: 215- 222.
- Ansa-Asare OD, Marr IL, Cresser MS, 2000. Evaluation of modeled and measured patterns of dissolved oxygen in a freshwater lake as an indicator of the presence of biodegradable organic pollution. *Water Research*, 34(4), 1079–1088.
- Ayah M, Grybos M, Tampo L, Bawa LM, Brill H, Djaneye-Boundjou G, 2015. Qualité et pollution des eaux d'un hydrosystème littoral tropical : cas du système lagunaire de Lomé, Togo. *European Scientific Journal* May 2015 edition vol.11, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Ayah M, Bawa LM, Djaneye-Boundjou G, Doni SK, Nambo P, 2012. Spéciation du cadmium, du chrome, du cuivre et du plomb dans les sédiments des déchets de phosphate de Kpémé (Sud-Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 6, no 1, pp. 479-492.
- Bartram J, Carmichael WW, Chorus I, Jones J, Skulberg OM, 1999. Introduction. In I. Chorus, J. Bartram [eds.], *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO, New York.
- Benbouih H, Nassali H, Leblans M, Srhiri A, 2005. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afrique Sciences*, 1(1) : 109-125.
- Benzizoune S, Nassali H, Srhiri A, 2004. Étude de la cinétique d'adsorption du phosphore en solution sur les sédiments du lac Fouarat au Maroc. *Larhyss Journal*, 3 : 171-184.
- Blouidi MK, 2005. Étude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental) : Impacts des facteurs anthropiques. Thèse de Doctorat Univ. Mohammed V, Fac.Sci. Rabat & ULP-EOST Strasbourg I, 215p
- Bouden S, Chaabani F, Abdeljaoued S, 2009. Dynamique sédimentaire de la lagune de Korba (nord-est de la Tunisie). *Quaternaire*, 20, (2), 227-237.
- Bremond R, Vuichard R, 1973. Paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 178 p.
- Chamley H, 2000. Bases de sédimentologie. Dunod, Paris, 2ème édition, 178 p.
- Chapman D, Kimstach V, 1996. Selection of water quality variables. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, pp. 59-126.
- Dovonou F, Aina M, Boukari M, Alassane A, 2011. Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : cas du lac Nokoué au Sud Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(4) : 1590-1602, August 2011.
- Groga N, 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Doctorat De L'université De Toulouse délivré par l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). 224p.
- Gnohossou P, 2006. La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité abondance, variation temporelles et spatiales, place dans la zone trophique. Thèse de Doctorat. Institut national polytechnique de toulouse. Formation doctorale : SEVAB. 169p.

- Hébert S, Légaré S, 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'environnement, envirodoq n° ENV-2001- 0141, rapport n° QE-124, 24p et 3 annexes.
- Hountogan MP, 2015. Diversité phytoplanctonique et qualité écologique du lac Nokoué au Bénin. Mémoire de Master en monitoring des ressources aquatiques et aménagement des pêches continentales. Faculté des Sciences Agronomiques/UAC.76p.
- Jen O, 2002. The perceived Environmental Impact of Car Washing. Ramsey-Washington Metro Watershed District, 9pp.
- Kanangire CK, 2001. Effet de l'alimentaire des poisons avec Azolla sur l'écosystème agro-piscicole au Rwanda. Dissertation présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en sciences. Faculté Universitaire Notre Dame de la Paix. Faculté des sciences, Namur-Belgique, 220 p.
- Keddari D, 2015. Mise au point des techniques de mesure de la DBO5, des formes azotées et des paramètres physiques des eaux superficielles. Mémoire de Master en Gestion durable des Ecosystèmes et protection de l'environnement. 53p
- Khalaf G, Slim K, Saad Z, Nakhlé K, 2007. Évaluation de la qualité biologique des eaux du Nahr el Jaouz (Liban) : application des méthodes indicielles. Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon, 76 (9–10) : 255- 268.
- Koudenoukpo ZC, Chikou A, Adandedjan D, Hazoume R, Youssao I, Mensah GA, Laleye AP, 2017 : Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud Bénin, Afrique de l'Ouest. Journal of Applied Biosciences 113 : 11111-11122.
- Lalèyè PA, 1995 : Écologie comparée de deux espèces de Chrisisthys, poissons siluriformes (claroteidae) du complexe lagunaire Lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège (Belgique), 152p.
- Lalèyè PA, Niyonkuru C, Moreau J, Teugels GG, 2003. Spatial and seasonal distribution of the ichthyofauna of Lake Nokoué, Benin, West Africa. African Journal of Aquatic Science 28 (2) : 151-161.
- Leclercq L, Maquet B, 1987. Deux nouveaux indices chimiques et diatomiques de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse Belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénotiques et diatomiques. Inst. Roy. Sc. Nat. Belg., Document de travail 38, 113p
- Leclercq L, 2001. Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, Document de travail, 44p.
- Li M, Xie GQ, Dai CR, Yu LX, Li FR, Yang SP, 2009. A study of the relationship between the water body chlorophyll a and water quality factors of the off coast of Dianchi Lake. Yunnan Geographic Environment Research, 21(2), 102–106.
- Mama D, 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de doctorat de l'université de Limoges (France), 177pages.
- Mama D, Aina M, Alassane A, Boukari OT, Chouti W, Deluchat V, Bowen J, Afouda A, Baudu M, 2011. Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Int. J. Biol.

- Chem. Sci. 5(5): 2076-2093, October 2011.
- Mama D, Deluchat V, Bowen J, Chouti W, Yao B, 2011. Caractérisation d'un Système Lagunaire en Zone Tropicale : Cas du lac Nokoué (Bénin). *European Journal of Scientific Research*, EuroJournals, 2011, 56 (4), pp.516-528.
- Marcel AK, 2005. Hydrochimie et qualité des eaux de deux lagunes tropicales de Côte d'Ivoire (Ebrié, Grand-Lahou). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, p. 242.
- Mounjid J, Cohen N, Fadlaoui S, Belhouari A, Oubraim S, 2014. Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique du cours d'eau merzeg (periurbain de Casablanca, maroc). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18 pp. 31-51.
- Niyonkuru C, 2007. Étude comparée de l'exploitation et de démographie des poissons cichlidés dans les lacs Nokoué et Ahémé au Bénin. Thèse de Doctorat en gestion de l'environnement. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 199p.
- O.C.D.E, 1982. Eutrophisation des eaux : méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. Organisation de Coopération et de Développement Économiques, Paris.
- Odountan H, Abou Y, 2015. Can Macroinvertebrate Assemblage Changes Be Used as Biological Indicator of Water Quality of the Nokoué Lake (Benin)? *Journal of Environmental Protection*, 2015, 6, 1402-1416 Published Online December 2015 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/jep> <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2015.61212>.
- Pearce MW, Schumann EH, 2003. Dissolved oxygen characteristics of the Gamtoos estuary, South Africa. *African Journal of Marine Science* 25 : 99-109.
- Rivière A, 1977. Méthodes granulométriques ; techniques et interprétations. Masson (collection « Techniques et méthodes sédimentologiques »), Paris, 170 p.
- Rodier J, 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod 7ème édition.
- Saad Z, Slim K, Khalaf G, Elsamad O, 2004. Impact des rejets des eaux résiduaires sur la qualité physicochimique et algologique du Nahr Antélias. *Bulletin de la Société Neuchâtoise des Sciences Naturelles*, 127 : 69-82.
- Séraphin KK, Marcel AK, Antoinette AA, Dongui BK, Dago G, 2008. Variations saisonnières des paramètres abiotiques des eaux d'une lagune tropicale : la lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 21(3): 376-393.
- Sondergaard M, Jensen LP, Jeppensen E, 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506-509, p.135- 145.
- Texier HC, Dossou B, Profizi JP, 1980. Le lac Nokoué, environnement du domaine margino-littoral Sud-Béninois : Bathymétrie-lithofaciès, salinités, mollusques et peuplements végétaux. *Bulletin de l'Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine*, 28 : 115-142.
- Villanueva MCS, 2004. Biodiversité et relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'Ouest : Adaptations aux pressions environnementales. Thèse de doctorat. 272 p.
- Vodougnon MHB, 2015. Impacts des activités anthropiques sur la qualité de l'eau et des poissons pêchés dans le complexe lagunaire Lac Nokoué - Lagune de Porto-Novo. Mémoire master en pêche et aquaculture. 83p.

Wentworth K, 1922. "A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments", *Journal of Geology*, Vol. 30, No. 5, 1922, pp. 377-392. Doi : 10.1086/622910.

Yacoub I, Marcel AK, Dongui BK, Jean B, 2008. Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte

d'Ivoire). *Afrique Science*, 4(3) : 368-393.

Zinsou HL, Attingli AH, Gnohossou P, Adandedjan D, Laleye P, 2016. Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin. *Journal of Applied Biosciences* 97 :9163 – 9173.