



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=====

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU (INE)

=====

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

OROU DADO Séidou

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER PROFESSIONNEL EN HYDROLOGIE

OPTION : ECOHYDROLOGIE

=====

THEME

**INFLUENCE DES ACTIVITES ANTHROPIQUES SUR LA DIVERSITE
FONCTIONNELLE DES POISSONS DU LAC NOKOUE**

Maître de Mémoire

Prof. MAMA Daouda

Prof Titulaire des Universités
(CAMES)

Maître de stage

Dr. ADANDEDJI M. Firmin

Chercheur en Qualité des eaux et Modélisation

Ir. HOUNYEME Romuald Chercheur en Ecologie
Statistiques



PROMOTION : 2019-2021

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A mon cher père **Banda OROU DADO** et à ma chère mère **Hawaou GOUNOU** pour
l'affection dont j'ai bénéficiée à qui je témoigne ma profonde gratitude pour leur
soutien qui ne souffre d'aucune altération et tous les sacrifices qu'ils ne cessent de
consentir à mon égard.

REMERCIEMENTS

Le présent travail de recherche ne saurait se réaliser et se concrétiser sans la disponibilité et la contribution de certaines personnes, que je prie sans aucune distinction, de trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude. Je ne peux en aucun cas remercier individuellement toutes les personnes physiques ou morales qui m'ont apporté d'une manière ou d'une autre leur assistance dans le cadre de la réalisation de ce travail. Cependant, je voudrais qu'elles sachent que j'éprouve une profonde gratitude pour chacune d'elles. Je remercie en premier lieu le bon Dieu pour son amour, et son assistance tout au long de ce travail. Je tiens à remercier particulièrement :

✓ Professeur **Daouda MAMA**, maître de mémoire et Directeur de l'INE, pour avoir accepté d'encadrer mes travaux de recherche qui ont abouti à ce mémoire de Master. Je le remercie pour avoir répondu à toutes mes sollicitations.

✓ Dr. **Firmin M. ADANDEDJI** qui a suivi mes travaux de bout en bout en tant que maître de stage et qui a beaucoup contribué à la rédaction de ce mémoire en me donnant des orientations utiles,

✓ Mr. **HOUNYEME Romuald** en tant qu'encadrant et qui a beaucoup contribué également à la rédaction de ce mémoire,

✓ Dr **Abdoukarim ALASSANE**, Chef du Département Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'Institut National de l'Eau pour ces conseils,

✓ Dr **Ousmane BOUKARI** pour ces conseils et orientations,

✓ Mes travaux de recherche ont été facilités par le soutien financier IFS. J'adresse mes sincères remerciements aux responsables de IFS,

✓ Tous les Enseignants à divers niveaux en particulier le professeur **Flavien E. DOVONOU**, je dis un sincère merci pour leur encadrement sans lequel ce travail n'aurait pas été réalisé,

✓ Mes remerciements vont également en direction de tous les membres du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) pour leur accueil et les différents échanges que j'ai pu avoir depuis le début de ma formation jusqu'à ce jour.

En l'occurrence Mr. **TOBOUREGUI CHABI Yacoubou** et Madame **OLOU Marcelline** pour vos conseils de tous les jours et à nous orienter sur le plan administratif,

✓ Tous mes frères, sœurs et parents en particulier mon oncle **Orou Méré OROU DADO**, pour le soutien que vous m'avez apporté durant toutes ces années de formation et lors de la réalisation de ce travail,

✓ Tous mes camarades de promotion de Master Professionnelle en Hydrologie (MPH) de l'Institut Nationale de L'Eau (INE) et particulièrement à **ABOUBAKARI Akim** et **OLOU Ange**, recevez toutes mes amitiés. Vous avez été des amis irremplaçables durant ces années passées ensemble,

✓ Tous les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

RESUME

La protection des écosystèmes aquatiques est indispensable à l'équilibre écologique des espèces halieutiques et à une saine alimentation des populations locales. Le lac Nokoué situé au Sud du Bénin est sous l'influence de plusieurs formes de pollution qui résultent pour la plupart des activités anthropiques. Dans le but de comprendre l'influence des activités anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons du lac Nokoué, une étude a été réalisée à cet effet. Ainsi, l'objectif de ce travail est d'étudier l'impact des pressions anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons du lac Nokoué. Au total huit (08) stations d'étude ont été identifiées sur ce plan d'eau. Les prélèvements d'eau et l'échantillonnage des poissons ont été réalisés de Mai à Août 2021. Au total, 30 espèces réparties en 25 genres et 18 familles ont été répertoriées. Afin d'évaluer la qualité de l'eau, différents paramètres physico-chimiques ont été mesurés. Les résultats de ces analyses physico-chimiques révèlent que les valeurs moyennes de l'oxygène dissous, du phosphore total sur le Nokoué, sont respectivement de 3,65 mg/L et 2,83 g/L. Ces valeurs indiquent que les eaux du lac Nokoué sont de mauvaise qualité selon la grille du Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau). En vue d'évaluer l'influence des activités anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons, le modèle HMSC a été utilisé. On constate que les traits fonctionnels tels que le poids, la longueur, l'abondance des espèces, la catégorie trophique et écologique ont été influencés par les paramètres environnementaux. Les principaux facteurs qui influencent les traits fonctionnels des poissons sont la température, le pH, le phosphore total, orthophosphates, la DBO₅ et les MES. Le modèle HMSC nous a permis de connaître l'influence de ces paramètres sur les différents traits fonctionnels des espèces de poissons.

Mots clés : Lac Nokoué, traits fonctionnels, diversité, poissons, HMSC.

ABSTRACT

The protection of aquatic ecosystems is essential for the ecological balance of fish species and for a healthy diet for local populations. Lake Nokoué, located in the south of Benin, is under the influence of several forms of pollution, most of which are the result of human activities. In order to understand the influence of anthropogenic activities on the functional diversity of fish in Lake Nokoué, a study was conducted. Thus, the objective of this work is to study the impact of anthropic pressures on the functional diversity of fish in Lake Nokoué. A total of eight (08) study stations were identified on this body of water. Thus, the objective of this work is to study the impact of anthropic pressures on the functional diversity of fish in Lake Nokoué. A total of eight (08) study stations were identified on this body of water. The water and fish samples were taken from May to August 2021. In total, 30 species divided into 25 genera and 18 families were identified. In order to evaluate the water quality, various physico-chemical parameters were measured. The results of these physico-chemical analyses reveal that the average values of dissolved oxygen and total phosphorus in Nokoué are 3.65 mg/L and 2.83 g/L respectively. These values indicate that the waters of Lake Nokoué are of poor quality according to the Water Quality Assessment System (SEQ-Eau). In order to evaluate the influence of anthropogenic activities on fish, the HMSC model was used. Functional traits such as weight, length, species abundance, trophic and ecological category were found to be influenced by environmental parameters. The main factors influencing the functional traits of fish are temperature, pH, total phosphorus, orthophosphates, BOD₅ and TSS. The HMSC model allowed us to know the influence of these parameters on the different functional traits of the fish species.

Key words : Lake Nokoué, functional traits, diversity, fish, HMSC.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation du milieu d'étude	26
Figure 2: Variation de la température et précipitation de Cotonou.....	27
Figure 3 : Carte des sites d'échantillonnage	34
Figure 4 : Température de l'eau du lac Nokoué.....	44
Figure 5: Potentiel d'hydrogène de l'eau du lac Nokoué.....	44
Figure 6 : Salinité de l'eau du lac Nokoué.	45
Figure 7 : Conductivité électrique de l'eau du lac Nokoué.	45
Figure 8 : Total solides dissous de l'eau du lac Nokoué.....	46
Figure 9 : Turbidité des eaux du lac Nokoué.....	47
Figure 10 : Variation de l'oxygène dissous des eaux du lac Nokoué.	48
Figure 11: Matières en suspension des eaux du lac Nokoué.....	49
Figure 12 :Ortho-phosphates des eaux du lac Nokoué	50
Figure 13: Phosphore total des eaux lac Nokoué.....	50
Figure 14 : DBO₅ de l'eau lac Nokoué.....	49
Figure 15: Nitrates de l'eau du lac Nokoué.....	49
Figure 16 : Abondance des espèces capturées dans le lac Nokoué.....	53
Figure 17 : Abondance des espèces de poissons dans le lac Nokoué.....	54
Figure 18 : Relation entre l'effectif et la taille des poissons capturés dans le lac.	55
Figure 19 : Relation entre l'effectif et le poids des poissons capturés dans le lac.	55
Figure 20 : Evaluation de la fiabilité des résultats avec le modèle HMSC.....	56
Figure 21 : Facteur de réduction d'échelle	56
Figure 22 : Tailles d'échantillons effectives	57
Figure 23 : Variance expliquée des proxys de pression en fonction de chaque espèce. ...	57
Figure 24 : Réponse des espèces aux proxys de pressions	58
Figure 25 : Réponses des traits fonctionnels des espèces aux proxys de pressions	60
Figure 26 : Association résiduelle des poissons pendant les saisons	61
Figure 27 : Interaction des espèces par station.....	62
Figure 28 : ACP des paramètres physico-chimiques	64
Figure 29 : Classification des stations d'échantillonnage	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Raisons de choix des différents sites d'échantillonnage	35
Tableau 2 : Statistique descriptive des paramètres physico-chimiques des eaux	43
Tableau 3 : Grille d'évaluation de la qualité des cours d'eaux	50
Tableau 4 : Liste des espèces inventoriées par station d'étude dans le lac Nokoué	51
Tableau 5 : Matrice corrélation des paramètres physico chimiques.....	73

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Dégradation de la ressource en eau	19
Photo 2: Vue partielle de la pratique de pêche	29
Photo 3: Vue partielle des sites piscicoles.....	30
Photo 4: Point de vente d'essence dans le Nokoué	31
Photo 5: Pollution du lac par une industrie	31
Photo 6: Vue partielle du marché d'Embarcadère de Calavi	32
Photo 7 : Colorimètre.....	39
Photo 8: Spectrophotomètre HACH LANGE DR 5000.....	40

SIGLES ET ABREVIATIONS

CE : Conductivité **É**lectrique

DBO₅ : Demande **B**iologique en **O**xygène pendant 5 jours

DCO : Demande **C**himique en **O**xygène

ETM : Elément **T**race **M**étallique

GPS : Global **P**ositionning **S**ystem

HSMC : **M**odélisation **H**iéarchique des **C**ommunautés d'espèce

IFS : **F**ondation **I**nternationale pour la **S**cience

INE : Institut **N**ational de l'**E**au

INSAE : Institut **N**ational de la **S**tatistique et de l'**E**conomie **A**ppliquée

IUCN : **U**nion **I**nternationale pour la **C**onservation de la **N**ature

LHA : **L**aboratoire d'**H**ydrologie **A**ppliquée

MES : **M**atière en **S**uspension

OMS : **O**rganisation **M**ondiale de la **S**anté

PNUD : **P**rogramme des **N**ations **U**nies pour le **D**éveloppement

pH : **P**otentiel d'**H**ydrogène

TDS : **T**otal des **S**olides **D**issous

UAC : **U**niversité d'**A**bomey-**C**alavi

USAID : **U. S** **A**gency for **I**nternational **D**eveloppement

SEQ-Eau : **S**ystème d'**E**valuation de la **Q**ualité des **E**aux

TABLE DES MATIÈRES**REMERCIEMENTS**

RÉSUMÉ	4
---------------	---

ABSTRACT	6
-----------------	---

SIGLES ET ABREVIATIONS	6
-------------------------------	---

GENERALITES	14
--------------------	----

I.1.1. Le concept de biodiversité	15
--	----

I.1.2. La diversité fonctionnelle	16
--	----

I.1.3. Caractérisation de la diversité fonctionnelle	16
---	----

I.1.4. La diversité taxonomique	16
--	----

I.2. Traits fonctionnels	17
---------------------------------	----

I.3. Conséquence des activités anthropiques sur les eaux de surface	19
--	----

I.4. Impact des activités anthropiques sur quelques paramètres physico-chimiques	19
---	----

II. Localisation du Lac Nokoué	26
---------------------------------------	----

II.1. Climat	26
---------------------	----

II.1.1. Température	26
----------------------------	----

II.1.2. Précipitations	27
-------------------------------	----

II.1.3. Type de végétation	27
-----------------------------------	----

II.1.4. Ichtyofaune	28
----------------------------	----

II.1.5. Principales activités sur le lac Nokoué	28
--	----

II.1.5.1. Pêche	28
------------------------	----

II.1.5.2. Agriculture	29
------------------------------	----

II.1.5.3. Elevage	29
--------------------------	----

II.1.5.4. Pisciculture	30
-------------------------------	----

II.1.5.5. Exploitation de sable lagunaire	30
--	----

II.1.5.6. Trafic d'hydrocarbure	30
--	----

II.1.5.7. Activités industrielles	31
--	----

II.1.5.8. Déchets ménagers	32
-----------------------------------	----

II.1.5.9. Commerce	32
---------------------------	----

II.2.1. Matériel de terrain	33
------------------------------------	----

II.2.2. Matériel de laboratoire	33
--	----

II.3. Méthodes	34
II.3.1. Recherche documentaire	34
II.3.2. Echantillonnage	34
II.3.3. Méthodes d'analyses	36
II.3.3.1. Mesure de paramètres physico-chimiques	36
II.3.3.1.1. Détermination des caractéristiques chimiques des eaux	37
II.4. Traitement des données	40
III. Résultats	42
III.1. Variation des paramètres physico-chimiques.	43
III.2. Résultats du modele HMSC	55
Conclusion et suggestion	68
Reference bibliographie	68
Annexes	77

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource indispensable à tout être vivant. Elle est nécessaire dans le domaine de la santé, l'agriculture, l'industrie, le tourisme, les loisirs, etc... (Dovonou *et al* 2011). Selon le même auteur, l'eau du lac Nokoué a une dimension socio-économique et alimentaire très importantes. Elle renferme des poissons et des crustacés qui sont des sources de protéines animales pour les populations environnantes. Cet écosystème aquatique subit des pressions anthropiques qui altère les conditions physico-chimiques de l'eau, les espèces vivantes du milieu et affecte également l'Homme (Amoussou, 2020). En effet, ce lac est confronté à de fortes pollutions : déversements d'eaux usées, de déchets solides ménagers et des rejets industriels. (Elegbede *et al*, 2020). Les travaux de Mama *et al.*, (2011) ; Lawani (2013) montrent aussi que les intrants et pesticides agricoles des régions environnantes et même lointaines concourent également à la pollution de cet écosystème et par conséquent à celle des poissons qui y sont pêchés. Des récentes études de Vissin *et al.* (2010), Youssao *et al.* (2011), Chouti *et al.* (2011), Mègnon *et al.* (2012), Aina *et al.* (2012), Lawani (2013), ont révélé sur le complexe lagunaire Lac Nokoué-Lagune de Porto-Novo de fortes contaminations en ETM de l'eau et des poissons de cet important plan d'eau du Bénin. Mais la pêche reste la première activité qui affecte directement et indirectement les propriétés biologiques des espèces de poissons exploitées dans les cours et plans d'eau. Dans le lac Nokoué, la diminution de la taille des espèces de poissons, les modifications de leurs densités, la distribution des espèces, et la diminution de la biomasse restent des constats alarmants dans le lac (Hacène, 2007). Face à toutes ces menaces, il est urgent de prendre des mesures adéquates pour une gestion rationnelle et durable de ce plan d'eau ; ceci passe par la connaissance de son fonctionnement écologique.

Des études ont déjà mis en évidence les principaux facteurs de structuration de ces communautés piscicoles et ont dégagé certaines tendances face aux modifications environnementales (Lalèyè 2003). Néanmoins ces études se sont focalisées sur la structure taxonomique des communautés et il est donc nécessaire d'aller plus loin en développant une approche fonctionnelle des communautés de poissons en lien avec les activités anthropiques. Ce qui suscite le thème intitulé « ***Influence des activités anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons du lac Nokoué*** ».

1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est de comprendre l'impact des pressions anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons du lac Nokoué.

2. Objectifs spécifiques

De façon spécifique, il s'agit de :

- ❖ caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux du lac Nokoué afin d'en faire des proxys de pression ;
- ❖ inventorier les différents groupes de poissons du lac Nokoué pour en déterminer la richesse spécifique ;
- ❖ implémenter le modèle HMSC afin d'évaluer l'impact des pressions anthropiques sur les traits fonctionnels des poissons.

Pour atteindre ces objectifs spécifiques des hypothèses ont été formulées :

- ✓ les eaux du lac Nokoué sont de mauvaise qualité ;
- ✓ les paramètres physico-chimiques sont à l'origine de la diversité fonctionnelle des poissons ;
- ✓ les pressions anthropiques sont à l'origine de la modification des traits fonctionnels des poissons.

Pour mieux aborder ce travail, nous avons structuré ce mémoire en trois grands chapitres. Le premier chapitre porte sur "la synthèse bibliographique", le deuxième chapitre " cadre d'étude, matériel et méthodes utilisés" le troisième et dernier chapitre porte sur "les résultats, interprétations et discussion".

I-SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

GENERALITES

I.1.1. Le concept de biodiversité

La terre abrite une extraordinaire diversité biologique ou « biodiversité » qui comprend des millions d'espèces différentes. La biodiversité spécifique se décline en de multiples facettes dont celles de leurs gènes, de leurs molécules, de leurs physiologies et de leurs comportements, de leurs multiples interactions écologiques avec leur environnement, ainsi que la variété des écosystèmes complexes qu'elles forment. La survie de la Terre et de l'humanité est basée sur l'extraordinaire diversité des formes de vie, notamment dans sa composante fonctionnelle, qui permet de fournir des services écosystémiques.

En écologie, la notion de biodiversité est largement employée. De nombreuses définitions existent dans la littérature pour le terme « biodiversité ». Ce terme « biodiversité » fut utilisé pour la première fois par l'américain W. Rosen en 1985 et, par la suite, largement disséminé par l'entomologiste américain E. O. Wilson. Au sens étymologique du terme, la biodiversité évoque la diversité du vivant, c'est-à-dire tous les processus, les modes de vie ou les fonctions qui conduisent à maintenir un organisme à l'état de vie.

Pour la Convention sur la Diversité Biologique (1992) dans son Article 2, la biodiversité correspond à la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. Cette définition se rapproche de celle de (Diaz *et al*, 2007) qui la définit comme « le nombre, l'abondance, la composition, la distribution spatiale et les interactions des génotypes, populations, espèces, traits fonctionnels et paysages dans un système donné ». C'est donc un concept multi-facette à la fois en termes d'échelles d'étude (du gène à l'écosystème) que de variables mesurées (richesse, régularité, disparité, connections).

La biodiversité est la diversité des organismes vivants, qui s'apprécie en considérant la diversité des espèces, celle des gènes au sein de chaque espèce, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes. (Clergeau, 2019). Selon le même auteur, la biodiversité n'est pas seulement une collection d'espèces végétales et animales sur un territoire. C'est aussi une diversité de gènes, d'espèces ou d'écosystèmes qui intègre surtout les relations que ces espèces entretiennent les unes avec les autres et avec leur biotope. L'enjeu de favoriser la

biodiversité au lieu des plantations d'espèces exotiques que tous les paysagistes et les municipalités savent déjà bien faire porte notamment sur cette notion de durabilité.

Pour l'UICN, la biodiversité est définie comme étant "la variété et la variabilité de tous les organismes vivants, incluant alors la variabilité des espèces, de leurs formes de vie, la diversité des complexes d'espèces associées et de leurs interactions, et celle des processus écologiques qu'ils influencent ou dont ils sont les acteurs".

I.1.2. La diversité fonctionnelle

L'étude de la diversité fonctionnelle à large échelle a permis de mettre en évidence une facette de la biodiversité distincte de la diversité taxonomique (Devictor *et al*, 2010). À l'échelle d'un assemblage, la diversité fonctionnelle représente l'ensemble des traits fonctionnels des espèces présentes au sein d'un assemblage (Violle *et al*, 2007). La diversité fonctionnelle permet de mieux appréhender l'impact de la biodiversité sur les écosystèmes.

I.1.3. Caractérisation de la diversité fonctionnelle

Les traits fonctionnels peuvent être physiques, biochimiques ou comportementaux. Ces traits déterminent le milieu de vie adapté à chaque espèce dans un écosystème (Marselli, 2020).

I.1.4. La diversité taxonomique

La diversité taxonomique des poissons d'eau douce est très inégalement répartie (Oberdorff *et al*, 1997). Chaque portion de la surface de la terre abrite différents types d'espèces (Lévêque *et al*, 2007) qui découlent de leur solitude au cours de l'histoire géologique. L'éloignement des zones géographiques par des océans, par des montagnes ou par des déserts a eu de grandes conséquences sur l'isolement des faunes de poissons d'eau douce. (Lévêque *et al*, 2008). La grande majorité des espèces de poissons d'eau douce vivent dans les zones tropicales et subtropicales (Néotropicale, Afrotropicale et Orientale). La zone Néotropicale (qui regroupe l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud) possède la plus grande richesse en espèces (4035) selon Lévêque *et al*, (2007) la zone Orientale (Asie du Sud et du Sud-Est) est le lieu d'une forte diversité taxonomique (2938 et 2345 espèces, respectivement). Contrairement aux zones tempérées, on note une faible diversité taxonomique (1844 espèces en zone Paléarctique et 1411 en zone Néarctique). Enfin la zone Australasienne est marquée par une très faible diversité (261 espèces). Les Characiformes (tétràs et cardinaux), par exemple, regroupent des espèces tropicales uniquement présentes dans les zones Néotropicale et Afro tropicale. À l'inverse, les salmonidés regroupent des espèces d'eau froide, adaptées aux climats tempérés

des zones Paléarctique et Néarctique. Seuls quelques groupes très diversifiés ont une distribution plus large, comme les Siluriformes (poisson-chats), les Perciformes présents dans les zones biogéographiques ou les Cypriniformes (absents uniquement en zone Néotropicale). Ces trois ordres de poissons représentent, à eux seuls, plus de 50 % des espèces de poissons d'eau douce.

I.2. Traits fonctionnels

Dans ce travail, cinq traits fonctionnels sont mis en évidence, la longueur, le poids, l'abondance, la catégorie écologique et la catégorie trophique. La taille du poisson représente le niveau trophique des espèces représente logiquement leur place dans la chaîne trophique, donnant des informations sur leurs modes de vie et leur manière de s'alimenter ; l'effet des changements environnementaux pourrait alors affecter différemment les espèces selon leurs niveaux trophiques (Cagnolo *et al.* 2009). Les traits sont l'ensemble des caractéristiques mesurables qui décrivent la morphologie, la physiologie, le comportement ou les préférences écologiques d'une espèce (Cadotte *et al.*, 2011). Ils représentent également l'ensemble des caractéristiques biologiques des espèces ainsi que leur relation avec l'environnement. Ces informations sont très utiles à étudier pour diagnostiquer l'impact des pollutions sur les populations d'espèces de poissons. Également appelés traits d'histoires de vie, les traits biologiques et écologiques rassemblent l'ensemble des informations qualitatives et quantitatives associées à la biologie des organismes et leur relation avec l'environnement. Ces traits caractérisent les potentialités de résistance ou de résilience, la morphologie, la physiologie ou le comportement. Les traits écologiques sont décrits par des variables caractérisant les affinités d'un taxon (sensibilité ou tolérance) pour certaines caractéristiques de l'habitat ou encore aux principaux paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau : nutriments, matière organique, salinité, oxygénation etc. Cela signifie que la distribution des organismes est fortement liée à la fréquence des perturbations naturelles ou anthropiques de l'écosystème. Les traits fonctionnels déterminent les effets des organismes sur les processus et les services écosystémiques (trait d'effet) et ou la réponse aux pressions (traits de réponse). Ces traits reflètent les adaptations aux variations dans les environnements physiques et biotiques et les équilibres entre les différentes fonctions d'un organisme. Les descripteurs taxonomiques (indice de diversité, abondance relative, richesse taxonomique espèces indicatrices) sont les plus couramment employés et décrits par de nombreux chercheurs, mais les mesures taxonomiques telles que les traits biologiques et écologiques peuvent aussi se révéler riches d'informations. Il est intéressant de travailler sur les traits pour plusieurs

raisons : les traits reflètent les variabilités naturelles des communautés selon les zones et donnent de l'information écologique, génèrent une diversité de réponses en rapport avec la diversité des perturbations naturelles ou anthropiques. Ils permettent d'établir un diagnostic précis sur l'origine de la dégradation du milieu, et discriminent leur évaluation, l'impact des perturbations, des fluctuations naturelles (temporelles et ou spatiales) de la composition des communautés vivantes.

I.3 Les activités anthropiques et les eaux de surface

Les eaux de surface sont détruites par les activités ménagères, industrielles, hospitalières et économiques. Toutes les populations, en particulier les riverains de ces plans et cours d'eau, quels que soient leur profil socioéconomique et culturel, sont responsables de l'altération de ces eaux de surface (Gohourou, 2021). Ces eaux de surface ont une qualité plus ou moins régulière selon les rejets qui s'y déversent ou encore selon le ruissellement des pluies. Il existe deux types d'activités anthropiques : les activités humaines terrestres (agriculture, foresteries, tourisme, industrie, mines) et les activités humaines aquatiques (pêche, baignade, yachting, aquaculture, trafic des produits pétroliers, exploitations de sable fluvial et marin). Certaines de ces activités humaines contribuent directement ou indirectement par ruissellement ou drainage à la pollution des eaux de surface et influent sur les caractéristiques des eaux (Adjagodo., 2016).

La pollution des eaux de surface est surtout liée à l'utilisation intensive des pesticides et des engrais, à la mauvaise gestion des décharges d'ordures, des rejets des eaux usées industrielles sans aucuns traitements préalables. Elle est due aussi à une intensification des activités industrielles et agricoles, et à une augmentation galopante de la démographie (Mc Kinney, 2002 ; Lamizana-Diallo et al., 2008). A Niamey au Niger, le fleuve Niger est le récepteur principal des rejets d'eaux usées de la ville, provenant des activités industrielles, domestiques, hospitalières et agricoles (Paré et Bonzi-Coulibaly, 2013). Au Maroc, Errochdi et al. (2012), ont lié la problématique de la qualité de l'eau au niveau du bassin versant du Laou à des rejets des eaux usées et à l'intensification de l'agriculture avec l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires et celle du bassin versant Tahaddart à la nature du substrat fortement érosif, à l'élevage et le surpâturage, à l'agriculture et la nature des pratiques agricoles. Au Bénin, certaines pratiques telles que le lavage des motos dans les eaux de surface et les transports, l'utilisation des produits pétroliers frelatés par les conducteurs de taxi motos constituent des

risques environnementaux et sanitaires (Ayi et al., 2006). En plus de ces sources de pollutions s'ajoute l'implantation des acadjas sur les plans d'eau (Mama, 2010).



Photo 1: Dégradation de la ressource en eau (Gohourou et al. 2021)

I.4. Conséquence des activités anthropiques sur les eaux de surface

Les activités anthropiques interfèrent sur les eaux de surface en créant des problèmes environnementaux et sanitaires. Dans certains écosystèmes, les produits chimiques peuvent être source de disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et par conséquent, entraîner le dysfonctionnement de la chaîne trophique (Gold, 2002). Selon Dedjiho et al. (2013), l'enrichissement du milieu aquatique augmente le métabolisme et la productivité des macrophytes et du phytoplancton. Les conséquences de la pollution sur les eaux sont la destruction des ressources vivantes, le déséquilibre des milieux physiques, biologiques et des écosystèmes aquatiques à travers l'eutrophisation, particulièrement dans les zones maritimes ou côtières (Rachid, 2010). Au sein d'un écosystème, l'action d'un polluant est conditionné par son interaction avec les facteurs abiotiques et biotiques. Toutefois, l'évaluation de ces conséquences potentielles sur l'ensemble de l'écosystème reste délicate et nécessite de considérer différentes échelles spatiaux- temporelles afin de mieux cerner l'action de ce toxique sur chaque niveau trophique. Au niveau des espèces ces impacts peuvent se traduire par une diminution de la densité (abondance) et de la richesse spécifique au sein de l'écosystème, une possible disparition d'espèces, réduction de la biodiversité et de modification de dominance entre ces espèces.

I.5. Impact des activités anthropiques sur quelques paramètres physico-chimiques

- **Température (T°C)**

La température de l'eau joue un rôle important par exemple dans la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température augmente la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par le rejet d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes. (IBGE, 2005)

- **Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6,5 et 8,5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale. (IBGE, 2005). Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles, cette activité est due à de différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels. (Rodier et al., 2009).

- **Conductivité électrique (EC)**

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu S/cm$. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent pas des variations importantes en sels dissous. (IBGE, 2005).

- **La turbidité**

La turbidité est l'élément important de la qualité de l'eau, tant pour la vie aquatique car elle réduit la transparence, empêche la pénétration de la lumière. Ce qui a pour effet de freiner la photosynthèse. (Zaimeche, 2014).

- **Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres microorganismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières en suspension sont exprimées en mg/l. (Kaci et Moali, 2019).

- **Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène**

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense. Les espèces de poissons sensibles peuvent être perturbées par une teneur en oxygène inférieure à 4 mg/l. La concentration en oxygène dissous peut être exprimée en mg d'O₂ par litre ou en % de saturation en oxygène. (Khettaf, 2018).

- **Demande biologique en oxygène (DBO₅)**

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (graisses, hydrates de carbone, tensioactifs, etc.). Ce prélèvement d'oxygène se fait au détriment des autres organismes vivants du milieu aquatique. En ce qui concerne les eaux domestiques, environ 70% des composés organiques sont généralement dégradés après 5 jours et la dégradation est pratiquement complète au bout de 20 jours. L'indicateur utilisé est généralement la DBO_5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO_5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée. (Kaci et Moali, 2019).

I.6. Modèle HMSC

Pour mieux comprendre la structure des communautés sur la diversité spécifique des espèces, nous avons utilisé le cadre analytique appelé modélisation hiérarchique des communautés d'espèces (HMSC) comme cadre général et flexible pour l'analyse moderne des données (Ovaskainen *et al.* 2017). C'est un outil statistique efficace en termes de calcul et d'analyse de grands ensembles de données (Ovaskainen *et al.* 2017). Cet outil nous a permis lors de notre analyse de comprendre comment les activités anthropiques (proxys de pression) ont influencées la diversité fonctionnelle des poissons du Nokoué.

I.6.1. Flux de travail du modèle HMSC

Selon Ovaskainen *et al.* 2017 la réalisation d'une analyse HMSC comprend cinq grandes étapes principales : (1) Paramétrage et ajustement du modèle, (2) Analyse de la convergence MCMC, (3) Estimation de l'ajustement du modèle, (4) Exploration des estimations de paramètres et (5) Prédiction des variables dont voici l'explication de chaque étape.

Étape 1. Processus de la réalisation et ajustement du modèle.

Cette étape marque le début du chargement des données par l'utilisateur et la prise de décision par rapport à la configuration du modèle, y compris les variables environnementales. L'adaptation du modèle comprend l'exécution du schéma d'estimation de la Chaîne de Markov Monte Carlo (MCMC) pour échantillonner à partir de la distribution après effet des paramètres du modèle.

Étape 2. Analyse de la convergence MCMC.

Dans cette étape, l'utilisateur examine si le schéma MCMC a abouti à une approximation valide de la distribution, par exemple au sens des chaînes ayant atteint une distribution stationnaire et représentant un grand nombre d'échantillons. Si ce n'est pas le cas, les résultats ne seront pas fiables et l'utilisateur doit donc réajuster le modèle avec un schéma d'échantillonnage MCMC plus long.

Étape 3. Estimation de l'ajustement du modèle.

Le pouvoir explicatif des modèles évalué par la statistique est toujours supérieur au pouvoir prédictif, ces dernières étant ici basées sur une quadruple validation croisée. Nous avons choisi la quadruple validation croisée comme par exemple la double validation croisée n'exclurait que la moitié des données pour l'ajustement, et pourrait donc conduire à des résultats compromis, alors que par exemple la validation croisée leave-one-out serait très exigeante en termes de calcul. Alors que les modèles comprenant des composantes spatiales avaient clairement le pouvoir explicatif le plus élevé, leur pouvoir prédictif était approximativement égal à celui des modèles qui ne comprenaient que des Co-variables environnementales, indiquant un moindre sur-ajustement de ces dernières. Les modèles de Poisson log-normaux étaient presque aussi bons pour séparer les présences des absences que les modèles probit, même si ces derniers étaient spécifiquement conçus pour le faire. Les modèles de Poisson log-normaux spatiaux avaient un pouvoir explicatif relativement élevé, mais pas un pouvoir prédictif, lié à la variation de l'abondance.

Étape 4. Exploration des estimations de paramètres.

Dans cette étape, l'utilisateur peut extraire des résumés numériques des estimations de paramètres, par exemple les moyennes postérieures et quantiles. HMSC-R est également livré avec des fonctions pour produire des graphiques qui illustrent les distributions a posteriori de variables de grande dimension, telles que le partitionnement de la variance de la variation expliquée entre les Co-variables environnementales et les effets aléatoires, les réponses de l'espèce aux Co-variables environnementales et les espèces-à- associations d'espèces.

Étape 5. Prédiction des variables.

HMSC-R est livré avec une fonction de prédiction générique ainsi que des outils plus spécifiques pour générer des prédictions sur des gradients environnementaux. L'utilisateur peut visualiser les prévisions à la fois au niveau de l'espèce (par exemple, les probabilités d'occurrence ou l'abondance d'espèces individuelles) ou au niveau de la communauté (par exemple, la richesse en espèces ou les moyennes de traits pondérées par la communauté). De

même, les prédictions sur l'espace peuvent être utilisées pour générer des cartes, par ex. distributions d'espèces individuelles, moyens de traits pondérés par la communauté ou régions de profil commun. Les prédictions pour les espèces focales peuvent également dépendre de la présence connue d'autres espèces.

I.6.2. Justification du choix du modèle HMSC

Selon Ovaskainen *et al.* (2017), le modèle HMSC est un cadre qui unit et prend en compte des approches classiques telles que les modèles de distribution monospécifiques et ordinations basées sur un modèle comme cas particuliers et fournit des inférences simultanées au niveau de l'espèce et de la communauté. Ce modèle a l'avantage de générer des approches basées sur des exemples, tels que des outils de validation et de prédiction de modèles et surmonte les problèmes précédents de modélisation des communautés avec des données rares. Il permet de donner des prévisions de longue date dans la modélisation de la distribution des espèces. Ce modèle permet également de séparer la variation observée dans les cas présents d'espèces en composants liés à la variation environnementale avec processus mesurés et processus aléatoires (ou variation non mesurée) à différentes échelles spatiales à la fois au niveau de l'espèce et de la communauté niveaux. Le modèle permet de voir aussi l'influence des traits des espèces sur leurs occurrences (Legendre *et al.* 1997). IL peut être appliqué à de nombreux types de plans d'étude (y compris hiérarchiques, temporels ou spatiaux) et à de nombreux types de données (comme la présence-absence, les comptages et les mesures continues) et générer des prédictions au niveau de l'espèce, de la communauté ou des traits, tout en propageant l'incertitude dans les valeurs des paramètres au niveau de la prédiction.

II-CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

II. Localisation du Lac Nokoué

Le lac Nokoué, considéré comme le plus grand du Bénin, couvre une superficie de 150 km² à l'étiage (Pomalegni, 2018). Situé au Sud-est du Bénin, il est compris entre les parallèles 6°20' et 6° 30' Nord et les méridiens 2° 20' et 2° 35' Est. Sa partie Nord est occupée par une plaine d'inondation du fleuve Ouémé et de la rivière Sô tandis qu'à sa partie Sud se trouve la ville de Cotonou. Le chenal de Cotonou et le canal de Totchè relie respectivement le lac à l'Océan Atlantique et à la lagune de Porto-Novo. Le lac Nokoué a une longueur moyenne de 20 km dans sa direction Est-Ouest et une largeur de 11 km dans sa direction Nord-Sud (Dovonou *et al.*, 2011). La figure 1 présente la localisation du Lac Nokoué.

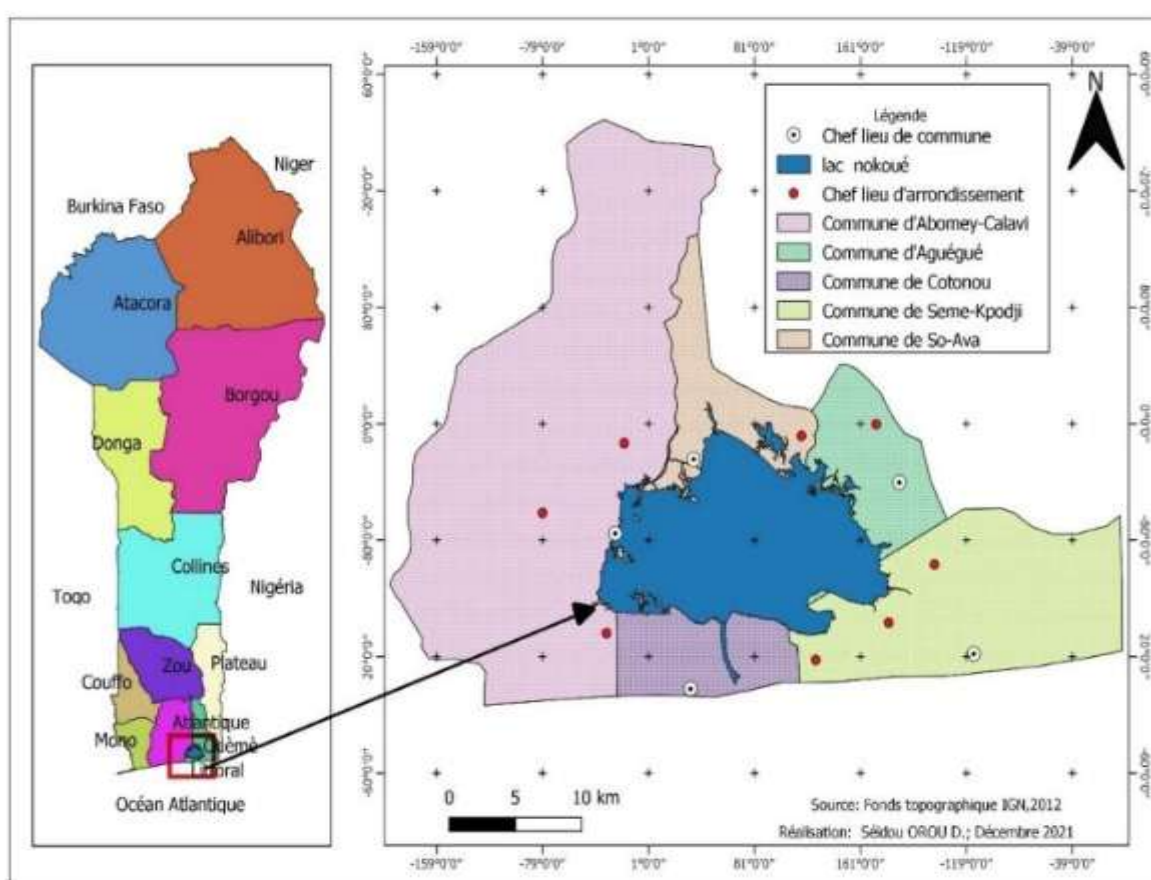


Figure 1 : Carte de localisation du milieu d'étude

II.1. Climat

II.1.1. Température

La zone d'étude est caractérisée généralement par une température moyenne annuelle de 27,8°C et une amplitude thermique tout au long de l'année de l'ordre de 5°C (Vodougnon, 2015). Les températures maximales journalières les plus élevées sont de l'ordre de 34°C en

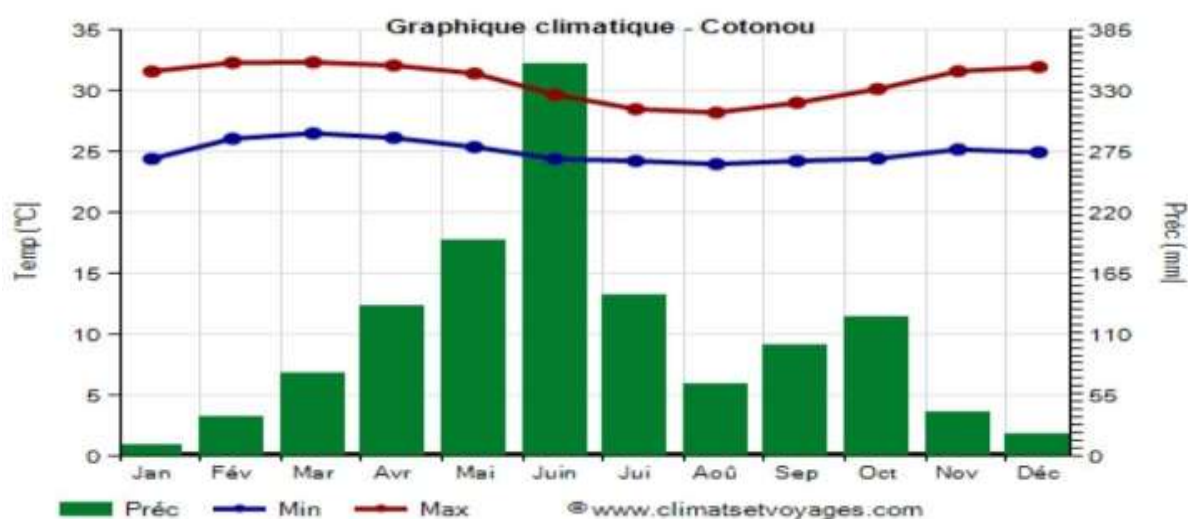
février, mars et avril. Les plus faibles valeurs de températures (23°C en moyenne) sont enregistrées au cours du mois d'août. L'amplitude thermique journalière est de l'ordre de 6°C en saison pluvieuse tandis qu'elle dépasse 10°C pendant la saison sèche. La figure 1 ci-après nous présente les précipitations et températures de la ville de Cotonou.

II.1.2. Précipitations

Le climat est du type subéquatorial de transition avec une alternance de deux saisons pluvieuses et de deux saisons sèches :

- ✓ Une grande saison sèche de la mi-novembre à la fin mars ;
- ✓ Une grande saison pluvieuse du début avril à la mi-juillet ;
- ✓ Une petite saison sèche de la mi-juillet à la mi-septembre ;
- ✓ Une petite saison pluvieuse de la mi-septembre à la mi-novembre.

Les hauteurs moyennes pluviométriques annuelles sont de 1200 mm à la station de Cotonou.



Toutefois, une importante variabilité de la pluviométrie est observée au cours des années.

Figure 2: Variation de la température et précipitation de Cotonou

II.1.3. Type de végétation

La végétation des plans et cours d'eau représente un lieu de refuge, de frayères et d'alimentation pour la faune aquatique (Adité *et al*, 1997). La diversité et la densité de la flore dans notre milieu d'étude sont fonction de l'alternance des saisons. Cette alternance entraîne entre autres une diminution et une augmentation de la salinité (Chouti, 2011). Dans ce lac,

deux groupes de végétaux se distinguent : les espèces des zones périodiquement inondées et les espèces des zones non inondées (Lawani, 2013). Les espèces des zones périodiquement inondées sont classées en 2 sous-groupes : (1) celles qui supportent les changements de salinité (polytypiques) c'est-à-dire *Paspalum vaginatum*, *Cyperus articulatus* et *Phragmites australis* et (2) celles qui ne se développent qu'en eau douce, *Eichornia crassipes*, *Crotalaria retusa*, *Penisetum polystachion* et *Pistia stratiotes*. Parmi ces végétaux, le cas d'*Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau) est le plus préoccupant du fait de sa vitesse de croissance et de l'invasion rapide du lac en période de crue. Elle couvre 10% de la surface du Lac Nokoué en période de crue mais disparaît dès que la salinité dépasse 7g /L (Mama, 2010). Au niveau des zones non inondées, la forêt primaire a quasiment disparu. La végétation est composée d'îlots de forêts semi décidues et caducifoliées. L'utilisation de la végétation riveraine comme bois de construction et de chauffage pour la cuisson, depuis le début du vingtième siècle, a dénudé des dizaines de kilomètres de mangrove le long des berges (Gnonhossou, 2006). De même, les dépôts d'ordures ménagères sur les berges et le comblement de l'eau à des fins d'urbanisation ont entraîné presque la disparition de la mangrove.

II.1.4. Ichtyofaune

L'abondance et la diversité de la faune ichtyologique des lagunes ouest africaines varient selon les saisons mais aussi en relation avec l'entrée d'eau marine dans les lagunes. D'après les travaux de Niyonkuru (2001), 50 espèces appartenant à 46 genres réparties en 33 familles et 10 ordres sont connues sur le Lac Nokoué. Lalèyè *et al*, (2003) ont recensé 51 espèces appartenant à 47 genres réparties en 34 familles et 10 ordres.

II.1.5. Principales activités sur le lac Nokoué

II.1.5.1. Pêche

L'exploitation des plans d'eau est d'une très grande importance socio-économique au Bénin (Houssou, 2012). La pêche constitue un moyen de subsistance pour de nombreuses communautés. Les Tofinou, les Wémènou et les Xuéda en font leur activité principale (Tossou, 2000). Ils utilisent une gamme variée d'engins et de techniques de pêche. Les plus couramment utilisés sont : les filets (éperviers, maillants etc.), les lignes à hameçons individuels ou multiples (palangres), les barrages et les nasses-pièges, le Medokpokonou (pourtant prohibé par la réglementation des pêches en vigueur) ou filet à barrages, les acadjas (Gnonhossou, 2006). Les acadjas sont des parcs à poissons, installés en eau peu profonde de 1,5 m au plus en période d'étiage. Ils sont constitués d'un espace piqueté de branchages dont

l'extérieur est ceinturé par des branches de bois dur et peu ramifié (Niyonkuru et Lalèyè, 2010). Il s'agit d'un système traditionnel de pisciculture extensive qui consiste à créer un habitat artificiel fait de branchages disposés dans l'eau. Le rendement des acadjas varie de 1,5 à 8 t/ha/an (Gnonhossou, 2006). Cette activité constitue une importante source de revenu pour les pêcheurs. Elle présente toutefois de nombreux inconvénients au nombre desquels nous pouvons citer : le déboisement des forêts, la destruction des mangroves ; un accroissement des charges sédimentaires, la turbidité et par conséquent la diminution du potentiel ichtyologique des plans d'eau.



Photo 2: Vue partielle de la pratique de pêche (Cliché Séidou OROU D., 2021)

II.1.5.2. Agriculture

Les pratiques agricoles contribuent également à la pollution des eaux du complexe du fait de l'utilisation des engrais minéraux, des herbicides et des pesticides. Sous l'effet des pluies, par infiltration ou ruissellement des eaux de surface, ces substances chimiques rejoignent les eaux du lac et/ou de la lagune (Hounkpe *et al*, 2017). L'utilisation de ses produits fait courir de graves menaces sur les écosystèmes aquatiques (Gnonhossou, 2006).

II.1.5.3. Elevage

L'élevage joue un rôle socio-économique important dans les communautés rurales. Il est pratiqué par la majorité des ménages (Gandonou, 2006). Dans les environs des berges, l'élevage dominant est celui des porcins (Gnonhossou, 2006). Les autres espèces animales sont généralement constituées des volailles, des caprins, des ovins, des lapins, des aulacodes et accessoirement des bovins. Le mode d'élevage souvent pratiqué est la divagation.

II.1.5.4. Pisciculture

Différentes méthodes de pisciculture extensive sont utilisées dans les plans et cours d'eau du Bénin. Depuis 2012, de nouveaux aménagements piscicoles ont été érigés sur les plans d'eau du Bénin afin de venir en aide aux associations de pêcheurs. Sur le Lac Nokoué, l'Association des propriétaires d'Acadjas a bénéficié d'un financement pour la production d'une espèce de poissons autochtone *Sarotherodon melanotheron* (famille des Cichlidae).



Photo 3: Vue partielle des sites piscicoles (Cliché Séidou OROU D., 2021)

II.1.5.5. Exploitation de sable lagunaire

Le dragage de sable lagunaire est une activité très répandue dans les écosystèmes aquatiques du Bénin. Sur le complexe Lac Nokoué-Lagune de Porto-Novo, Yacoubou (2005) et Vinanwamon (2010) ont répertorié un nombre important d'exploitants du sable lagunaire. Cette activité constitue une source de revenus pour de nombreuses populations mais occasionne également des dommages au niveau de la faune aquatique (Yacoubou, 2005). En effet, elle entraîne la destruction des habitats des poissons pondéurs sur substrats et augmente la turbidité de l'eau. Cette augmentation de la turbidité de l'eau entraîne une diminution de la saturation en oxygène. Quant à la destruction des habitats des poissons, elle entrave le repeuplement des eaux. Ceci est dommageable pour la faune aquatique et par conséquent pour l'écosystème aquatique (Vinanwamon, 2010).

II.1.5.6. Trafic d'hydrocarbure

Le trafic d'hydrocarbure (essence, pétrole, gasoil) constitue aussi une source de pollution des eaux du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo. D'importantes quantités de ces hydrocarbures sont déversées dans le lac Nokoué et la lagune de Porto (Dovonou *et al*, 2011).



Photo 4: Point de vente d'essence dans le Nokoué (Cliché Séidou OROU D., 2021)

II.1.5.7. Activités industrielles

Les industries exercent des activités susceptibles d'engendrer une dégradation de la qualité des écosystèmes. Cette pollution industrielle est générée par les effluents industriels et les divers produits toxiques utilisés. Les effluents, avec ou sans traitement, sont déversés dans la mer, dans les rivières ou sur les sols (Bawa et al., 2005). Ces effluents polluent l'eau de surface par le transfert des polluants, tels que les métaux lourds et colorants (Voegborio et al., 2011). Les industries du Bénin surtout celles qui sont installées dans les grandes villes. Ces industries déversent leurs effluents dans le chenal de Cotonou et contribuent ainsi à sa pollution chimique (Soclo, 1999). Toutes les eaux usées industrielles peuvent être responsables d'un déséquilibre écologique irréversible ainsi que de l'eutrophisation des eaux de milieu récepteur (Belghyti, 2009).



Photo 5: Pollution du lac par une industrie (Gohourou et al., 2021)

II.1.5.8. Déchets ménagers

Plusieurs sites de pollution ont été identifiés aux abords du lac Nokoué et à proximité. Ils correspondent à des dépotoirs sauvages où sont déversés les déchets ménagers des populations vivant à la périphérie de ces eaux (ACED, 2018).

II.1.5.9. Commerce

Les marchés des villes côtières constituent également des sources importantes de pollution. Les grandes quantités de déchets solides et liquides qu'ils produisent sont déversées dans les lacs et lagunes. C'est le cas du marché Dantokpa de Cotonou dont les déchets sont mal gérés et déversés dans le lac Nokoué (Hounkpe *et al*, 2017). Toutes ces activités anthropiques influence d'une manière ou d'une autre sur la vie aquatique notamment sur les poissons et précisément les traits fonctionnels tel que : l'abondance, le poids minimal ou maximal, la longueur minimale ou maximale, la catégorie écologique ou trophique. Il y a plusieurs traits sur les poissons mais pour notre étude on s'est intéressé à ces quelques car nous ne disposons pas de données sur les autres.



Photo 6: Vue partielle du marché d'Embarcadère de Calavi (Cliché Séidou OROU D., 2021)

II.1.10. Conséquences de la pollution anthropiques sur les eaux de surface

Les conséquences de ces différentes pollutions sur les eaux sont la destruction des ressources vivantes, le déséquilibre des milieux physiques, biologiques et des écosystèmes aquatiques à travers l'eutrophisation, particulièrement dans les zones maritimes ou côtières (Keddal et Yao N'dri, 2008). Les substances toxiques ont des conséquences sur l'équilibre écologique du milieu et par conséquent la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales, entraîne le dysfonctionnement de la chaîne trophique (Gold, 2002).

II.2. Matériel

Le matériel utilisé dans le cadre de cette étude est composé de :

II.2.1. Matériel de terrain

- une barque motorisée qui nous a facilité le déplacement et les prélèvements sur le lac ;
- un GPS (Global Positionning System) de marque GARMIN a permis de repérer géographiquement les points d'échantillonnages à chaque campagne ;
- des bouteilles en plastique ont servi à garder les échantillons d'eau ;
- une glacière a été utilisée pour le transport et la conservation des échantillons à 4°C jusqu'au laboratoire ;
- un cahier et un stylo pour la prise de notes ;
- un marqueur et du papier adhésif ont servi à étiqueter les échantillons ;
- un appareil portable pour la prise d'image,
- un disque de Secchi muni d'une longue corde graduée utilisé pour l'estimation de la transparence et la profondeur du plan d'eau à chaque site d'échantillonnage ;
- un multi paramètre de marque AQUA READ AP 700 (water monitoring instruments) a été utilisé pour mesurer des paramètres in situ. Ces paramètres sont la température, le potentiel d'Hydrogène, l'Oxygène dissous, la conductivité électrique, la salinité, total des solides dissous.
- un guide d'identification taxonomique des poissons de l'Afrique de l'Ouest a été utilisé pour identifier les espèces de poisson ;
- un ichtyomètre nous a été servi pour mesurer la longueur et la taille des poissons ;
- une balance électronique a été utilisée pour la prise du poids des espèces de poissons.

II.2.2. Matériel de laboratoire

- un agitateur magnétique nous a servi pour homogénéiser des solutions ;
- un spectrophotomètre DR 2800 servant aux analyses colorimétriques ;
- un colorimètre (DR/890) nous a servi à mesurer les matières en suspension et la turbidité ;
- une plaque chauffante nous a servi à chauffer les échantillons ;
- verrerie de laboratoire (bécher, burette, Erlenmeyer, fiole jaugée, pipette graduée...) pour la préparation des solutions ;
- marqueur, papier adhésif pour l'étiquetage des échantillons et quelques réactifs pour les différentes analyses.

II.3. Méthodes

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, la démarche scientifique adoptée comporte quatre volets que sont : la recherche documentaire, la phase d'échantillonnage, les analyses physico-chimiques au laboratoire et le traitement des données.

II.3.1. Recherche documentaire

Elle porte sur les mémoires, les thèses de Doctorat, les documents scientifiques qui ont abordé la problématique de notre sujet d'étude. Cette recherche documentaire a permis de recenser les informations existantes et de définir une orientation dans la collecte et le traitement des données.

II.3.2. Echantillonnage

L'échantillonnage a consisté en des prélèvements d'eau et de poissons au niveau des sites d'échantillonnages du lac Nokoué. De plus, des mesures de paramètres physico-chimiques ont été prises dans l'eau au niveau de chaque site d'échantillonnage.

- **Présentation des sites échantillonnés**

Le choix des sites de prélèvements des eaux et de poissons est fonction des zones où se développent les activités anthropiques, des déversements domestiques, des eaux de ruissellement et des apports de la mer. Les sites retenus ont été localisés et repérés au moyen d'un GPS. La figure ci-dessous présente les différents points d'échantillonnage.

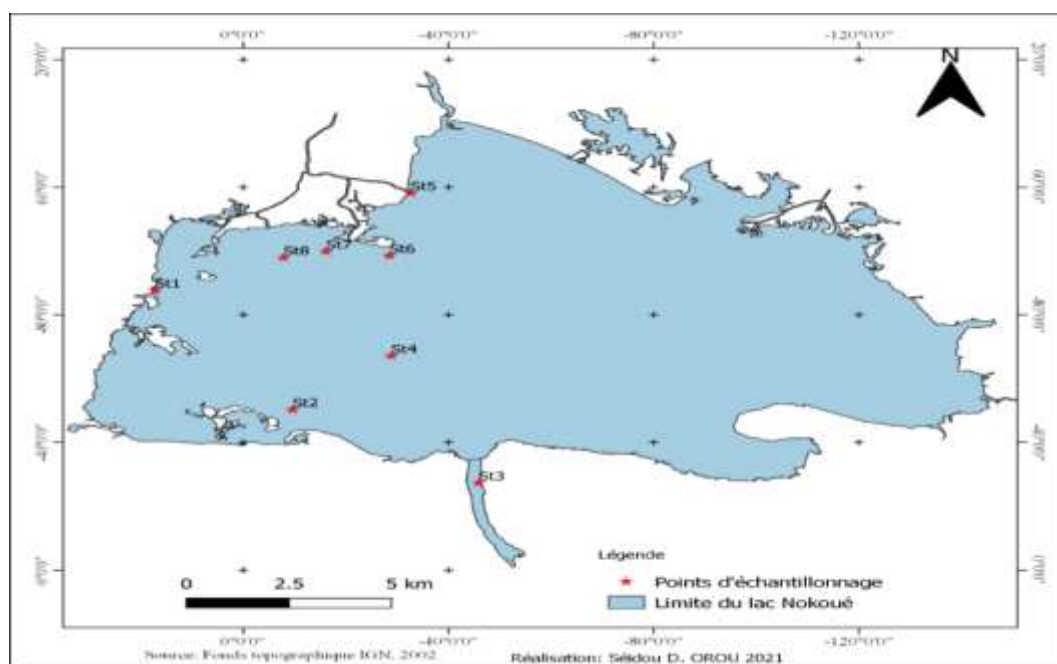


Figure 3 : Carte des sites d'échantillonnage

- **Caractéristiques des sites échantillonnés**

Le choix des sites d'échantillonnages est fonction d'une visite de terrain à l'aide d'une barque motorisée sur le lac Nokoué. Ces sites ont été sélectionnés en fonction de leur accessibilité, des activités pratiquées et de la densité de population. Les raisons du choix de ces différents sites sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Raisons de choix des différents sites d'échantillonnage

Sites	Noms des sites de prélèvements	Caractéristiques
St1	L'embarcadère d'Abomey-Calavi	Population dense, pratique de pêche, rejet des eaux usées et déchets solides, présence d'acadja, pollution moyenne.
St2	Zogbo	Population dense, pratique de pêche, lieu de rejet des eaux usées et déchets solides, présence d'acadja, pollution moyenne.
St3	Chenal	Population très dense, pratique de pêche, canal de communication entre le lac et la mer, lieu de rejet des eaux usées et déchets solides, forte pollution,
St4	Centre du lac	Forte pratique de pêche, présence de acadja
St5	Vêki	Population dense, pratique de pêche, rejet des eaux usées et déchets solides, présence de macrophytes et d'acadja et pollution moyenne
St6	Sô Zounko	Population dense, pratique de pêche, rejet des eaux usées et déchets solides, présence de macrophytes et acadja, forte pollution,
St7	Sô Tchanhoué	Population dense, pratique de pêche, présence d'acadja et de macrophytes, rejet des eaux usées et déchets solides, forte pollution
St8	Ganvié	Population dense, pratique de pêche, présence d'acadja et de macrophytes, rejet des eaux usées et déchets solides, forte pollution

- **Prélèvement et conditionnement des échantillons.**

Les prélèvements ont été réalisés périodiquement pendant cinq (05) mois du 29 Avril 2021 au 12 Août 2021 dans la matinée entre 07h – 11h et consiste à la prise d'échantillons d'eau et de poissons au niveau des différents sites. Pour y parvenir, certaines dispositions ont été préalablement prises au laboratoire comme le nettoyage du matériel de terrain.

- ✓ **Prélèvement d'eau**

Le prélèvement d'eau est effectué en barque motorisée, à quelques centimètres sous la surface de l'eau. Des bouteilles en plastique préalablement lavées et rincées ont été remplies après 3 rinçages avec l'eau à prélever. Les bouteilles remplies complètement sont fermées hermétiquement pour éviter toute fuite de gaz ; elles sont automatiquement étiquetées.

- ✓ **Échantillonnage de poissons**

Les poissons sont capturés par des techniques de pêche artisanale. Celle-ci utilise toute une panoplie d'engins et de techniques de pêche dont les filets maillants ou filets dormants, les acadjas, les nasses, les lignes simples et composées et les filets de barrage. Ces poissons ont été obtenus des pêcheurs les matins, juste après leur capture. Ces échantillons sont automatiquement emballés dans des sachets en plastiques et étiquetés, le tout dans une glacière contenant des glaçons. Au laboratoire, chaque espèce est identifiée suivant les guides d'identifications taxonomiques des poissons de l'Afrique de l'Ouest (Levêque *et al*, 1990). Les échantillons de poissons sont mesurés et pesés respectivement avec un ichtyomètre (au mm près) et une balance électronique de précision. A chaque contrôle, un nombre représentatif de spécimens de chaque espèce a été sélectionné pour être conservé dans du formol à 10% pour confirmation de l'identification au laboratoire et constitution d'une collection de référence.

II.3.3. Méthodes d'analyses

Pour chaque paramètre physico-chimique, des moyennes ont été calculées aussi bien sur le plan spatial que sur le plan temporel. Les résultats obtenus ont ensuite été présentés dans des tableaux et sous forme de courbes.

II.3.3.1. Mesure de paramètres physico-chimiques

L'analyse des paramètres physico-chimiques a été réalisée au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'Institut National de l'Eau (LHA /INE) et concerne les nitrates (NO_3^-), les orthophosphates, les ions ammonium (NH_4^+), le phosphore total (PT), la Demande Biologique

en Oxygène pendant cinq jours (DBO_5) La matière sèche (MS) et les matières en suspensions (MES) sont aussi déterminées. Pour cerner l'état de la qualité de cette eau, nous nous sommes intéressés aux paramètres associés à l'eutrophisation (Ryding *et al*, 1994). Ces paramètres sont la salinité, le pH, la concentration en oxygène dissous, les composés azotés (NO_3^-), les composés phosphorés (phosphate et phosphore total) et la matière organique (DBO_5).

II.3.3.1.1. Détermination des caractéristiques chimiques des eaux

❖ Les nitrates (NO_3^-)

Pour le dosage du nitrate on a prélevé 10 mL de l'échantillon puis on ajoute 1mL de solution de salicylate de sodium et porter à l'étuve à 105°C et laisser refroidir après séchage. Ensuite on a ajouté 2 mL d'acide sulfurique pur et on a attendu quelques minutes (10 minutes). Après on ajoute 15 mL d'eau distillée et attendre 15 minutes. On ajoute enfin 15 mL de sel Seignette pour nitrate. Pour la lecture au spectrophotomètre, on a complété l'eau distillée jusqu'à 100 mL et procède à la lecture à 425 nm par rapport à l'eau distillée traitée de la même.

❖ Les ions ammoniums (NH_4^+)

En ce qui concerne les ions ammonium on a prélevé 10 mL l'échantillon à analyser puis on ajoute 1mL de sel de Seignette pour ammonium et ensuite 2 mL de réactif de Nessler. Après 5 minutes, on procède à la lecture au spectrophotomètre (DR 5000) à 425 nm par rapport à l'eau distillée traitée de la même.

❖ Le phosphore total

Le phosphore total est dosé par spectrométrie en détectant le complexe phosphomolybdique de couleur bleu, selon la norme NFT 90 – 023.

❖ Les orthophosphates (PO_4^-)

Les orthophosphates sont dosés par spectrophotométrie en prélevant 20 mL de l'échantillon à analyser après ajout de 1mL d'acide ascorbique puis agiter énergétiquement. Ensuite on ajoute 4 mL de réactif combiné et agite puis attendre 30 minutes pour le développement de la coloration bleue. On procède à la lecture au spectrophotomètre (DR 5000) à la longueur d'onde de 700 nm qui est proportionnelle à la concentration en ions orthophosphates présents dans l'échantillon.

❖ Le phosphore total (PT)

Le dosage du phosphore total est réalisé en prélevant 25mL l'échantillon à analyser puis on ajoute 1mL de la solution de persulfate de potassium ou peroxodisulfate de potassium ($K_2S_2O_8$). On marque le niveau de la solution dans les bouteilles puis mettre les bouteilles à l'autoclave pendant 90 min à 120°C et 1,2 atm et laisser refroidir. Après on ajoute de l'eau distillée jusqu'au trait de marquage et homogénéiser et enfin on ajoute 1 mL d'acide ascorbique puis agiter énergétiquement et 4 mL de réactif combiné. Agite et attendre 30 min pour le développement de la coloration bleue. Procéder à la lecture au spectrophotomètre (DR 5000) à la longueur d'onde de 700 nm qui est proportionnelle à la concentration en ions orthophosphates présents dans l'échantillon.

❖ Azote total (NT)

Cet élément est dosé en introduisant dans un flacon stérilisable de 10 mL d'échantillon et 15 mL de solution de minéralisation, Boucher le flacon et passer à l'autoclave à 120 °C à la pression de 200 kPa pendant 45 min. Après refroidissement, on prélève 5 mL et introduire dans une fiole jaugée de 200 mL. Enfin ajoute 5 mL de la solution tampon et ajuste le volume à 200 mL.

❖ La matière organique (MO)

L'indice permanganate d'une eau est la concentration en masse d'oxygène en relation avec la quantité d'ion permanganate consommée par un échantillon d'eau, dans des conditions définies, Exprimé en mg/L d'oxygène, il correspond à une mesure conventionnelle pour évaluer la contamination d'un échantillon d'eau faiblement chargé en matière organique. Le test consiste à mesurer en milieu acide la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières oxydables contenues dans une eau.

❖ Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Elle est la quantité d'oxygène utilisée, pendant une période de cinq jours par les microorganismes pour décomposer la matière organique (végétales, animales, etc...) présente dans l'eau. Elle s'exprime en milligramme d'oxygène par litre (mg O₂/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 sont prélevés dans des bouteilles en verre muni d'un récipient contenant de KOH afin d'emprisonner le dioxyde de carbone (CO₂) rejeté par les micro-organismes. L'incubateur enregistre chaque jour la

quantité de CO_2 et la traduit par un programme qui lui est incorporé en concentration de dioxygène absorbé.

❖ La matière sèche (MS)

Les matières en suspension sont mesurées en pesant le filtre vide pour contenir l'eau et enregistrer le poids puis on place 10 mL de l'échantillon à analyser dans un bécher pour le filtrage. Pesez et enregistrez le filtre après filtrage et séchez complètement le filtre. Pesez et notez le poids immédiatement après séchage et soustrayez le poids à celui du poids vide du filtre et multipliez par 100 pour obtenir un pourcentage. Soit M_1 la masse initiale (masse du filtre vide), M_2 la masse finale (masse du filtre après filtrage) et M_{MS} la masse de la matière sèche.

❖ Les matières en suspensions (MES)

En ce qui concerne ce paramètre, on prélève 10 mL de l'échantillon à analyser puis on essuie le tube de mesure, après on introduit le tube de mesure dans la chambre du colorimètre et on ferme la chambre ; lire directement le résultat sur l'écran de l'appareil. L'appareil de mesure est le colorimètre (DR/890).



Photo 7 : Colorimètre (Cliché Séidou OROU D., 2021)

Le dosage du nitrate, des ions ammonium, des orthophosphates et du phosphore total a été effectué au spectrophotomètre (DR 5000) du laboratoire d'hydrologie appliquée.



Photo 8: Spectrophotomètre HACH LANGE DR 5000 (Cliché Séidou OROU D., 2021)

II.4. Traitement des données

Les données statistiques issues du terrain et celles obtenues au laboratoire sont insérées dans une feuille Excel et les graphiques sont réalisés également sur cette feuille. Le logiciel QGIS 3.6 a servi à la réalisation des cartes. Le logiciel Microsoft Word a servi à la rédaction du document. Le logiciel R-Studio 3.6 a servi à faire l'analyse statistique descriptive des données et le modèle HMSC nous a permis de comprendre l'influence des proxys de pression sur les traits fonctionnels des poissons.

✓ Transformations des données dans le modèle HMSC

La transformation des données dans le modèle HMSC a pour but de linéariser (normaliser) ces données. Pour normaliser dans ce modèle, on a utilisé une distribution de type log normale après avoir mis à l'échelle toutes les données environnementales. Pour les besoins de l'analyse, l'échantillonnage de la distribution postérieure est réalisé à partir de quatre (04) chaînes MCMC (Chaîne de Monte Carlo de Markov). Chacune de ces chaînes a été exécutée pendant 90.000 itérations dont les trente (30.000) premières itérations sont supprimées à titre de rodage.

✓ Log normale : En théorie des probabilités et statistiques, une variable aléatoire X est dite suivre une loi log-normale de paramètre μ et α^2 si la variable $Y = \ln(X)$ suit une loi normale d'espérance μ et de variance α^2 . Cette loi est parfois appelée loi de Galton. Elle est

habituellement notée $\text{Log-}N(\mu, \alpha^2)$ dans le cas d'une seule variable ou $\text{Log-}N(\mu, \Sigma)$ dans un contexte multidimensionnel.

- ✓ Itération : Méthode de résolution d'une équation par approximation successive.

Après l'étude des paramètres physico-chimiques susceptibles d'indiquer la pollution du milieu, nous nous sommes interrogés sur les proxys de pression susceptibles d'agir sur les traits biologiques des poissons. Nous avons utilisé le modèle décrit plus haut pour comprendre l'impact des proxys de pression sur les traits biologiques. Ce modèle nécessite les paramètres d'entrées telles que : les paramètres environnementaux et les traits fonctionnels.

III-RESULTATS ET DISCUSSIONS

III. Résultats

Ce chapitre présente les résultats des travaux et les différentes analyses faites et qui nous a permis d'avoir une idée sur l'influence des activités anthropiques sur la diversité fonctionnelle des poissons dans le lac Nokoué.

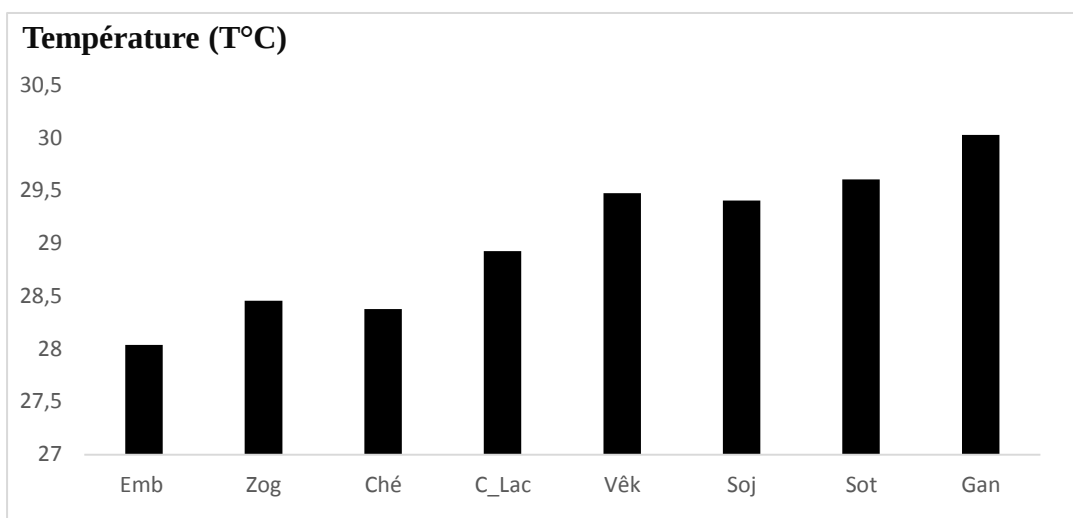
III.1. Variation des paramètres physico-chimiques.

La statistique descriptive réalisée sur les paramètres physico-chimiques a permis d'aboutir à des résultats du tableau suivant. Ces résultats ont ensuite été présentés sous forme de courbes. Le tableau ci- après nous présente la statistique descriptive des données physico- chimiques

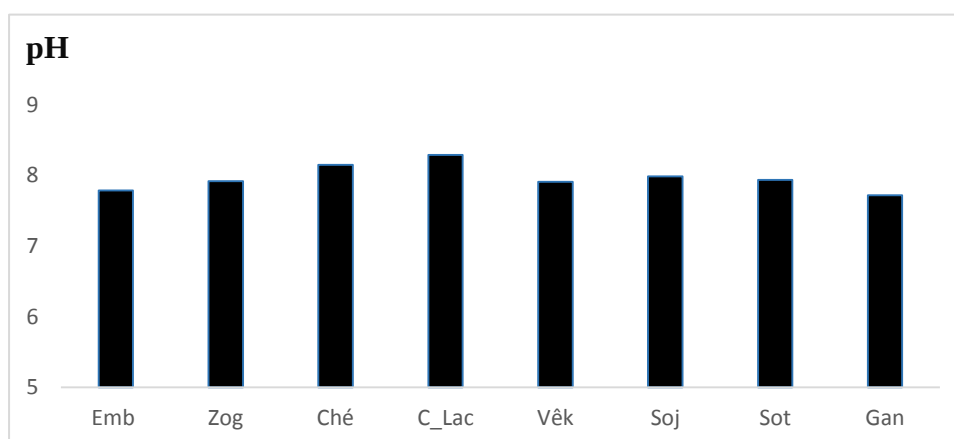
Tableau 2: Statistique descriptive des paramètres physico-chimiques des eaux

Paramètres	Min	Max	Moy	Ecart-type
T°C	28,04	30,03	29,04	0,7
Prof (m)	0,41	1,75	1,21	0,41
Ph	7,72	8,29	7,97	0,18
Oxy.dis (mg/l)	2,42	4,67	3,71	0,74
Sat (%)	23,80	70,20	52	15,17
Sal (psu)	10,81	36,44	19,14	8,73
CE (µS/cm)	14,88	55,49	32,78	12,1
TDS (mg/l)	17,76	927,8	186,04	311,26
Turb (NTU)	5,5	250	47,79	83,34
MES (mg/L)	19,69	197,88	61,21	58,25
M_S	20,08	81,52	36,25	20,65
NTK	21,91	92,77	39,72	24,49
DBO ₅	24,42	70,12	38,08	17,52
Ortho P	17,53	76,20	35,29	21,50
P Total	20,73	91,20	42,11	25,80
NO ₃ ⁻	20,93	74,31	38,29	21,13

❖ Variation spatiale de la température des eaux du lac Nokoué

**Figure 4** : Température de l'eau du lac Nokoué

Les extrema sont 28,04°C à l'Embarcadère en Juillet et 30,03°C à Ganvié en Mai, La valeur moyenne obtenue est de $29,04 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Les valeurs de températures relevées durant cet échantillonnage sont confirmées par les valeurs retrouvées par Zandagba *et al* (2016) durant la même période. Ces valeurs sont favorables à une bonne croissance des espèces piscicoles (Dedjiho, 2011).

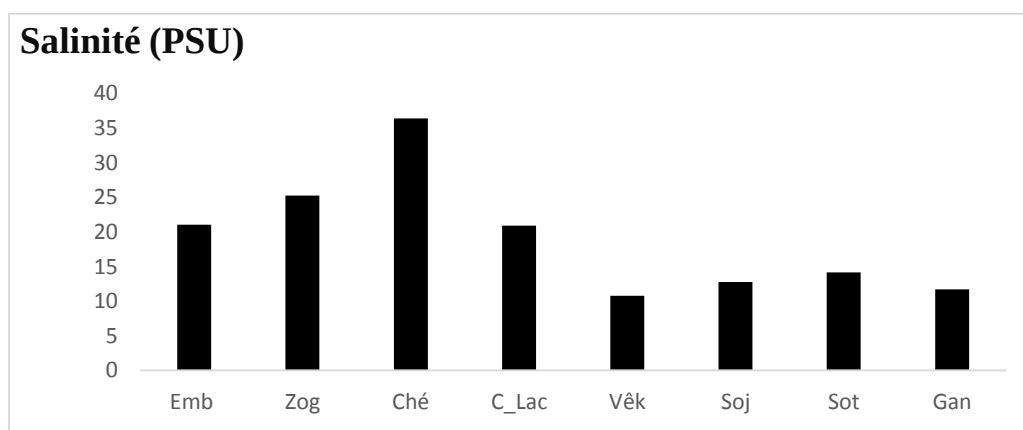


❖ Variation spatiale du potentiel d'Hydrogène des eaux du lac Nokoué

Figure 5: Potentiel d'hydrogène de l'eau du lac Nokoué

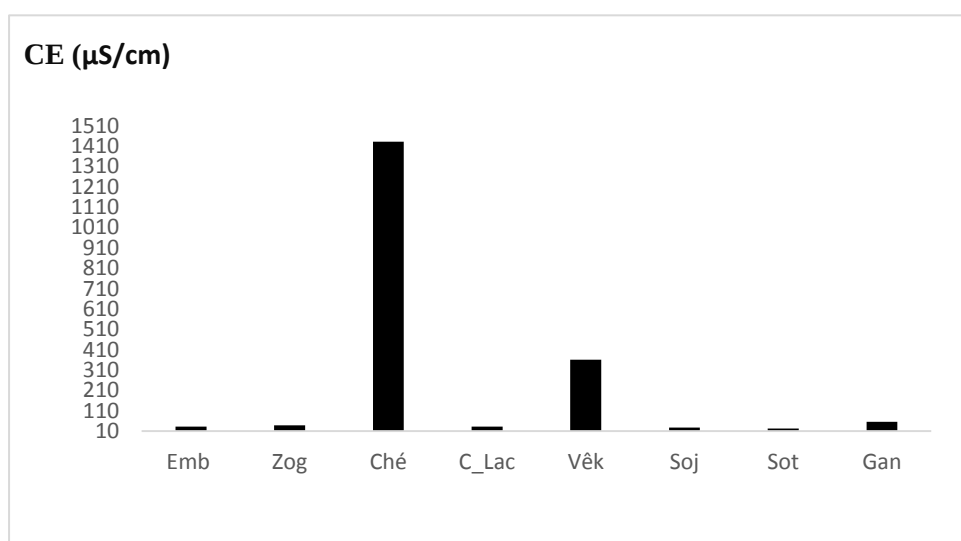
Les valeurs du pH sont comprises entre 7,72 à Ganvié et 8,29 au niveau du Chenal, tous deux en Juillet, La valeur moyenne du pH enregistrée est de $7,97 \pm 0,18$. La valeur du pH en Août (8,29) est supérieure aux valeurs de mai, juin et juillet et largement supérieure à celle en avril. La forte élévation du pH dans ce mois pourrait s'expliquer par le fait que ce sont les zones dans lesquelles l'activité photosynthétique est la plus élevée.

❖ Variation spatiale de la salinité des eaux du lac Nokoué

**Figure 6** : Salinité de l'eau du lac Nokoué

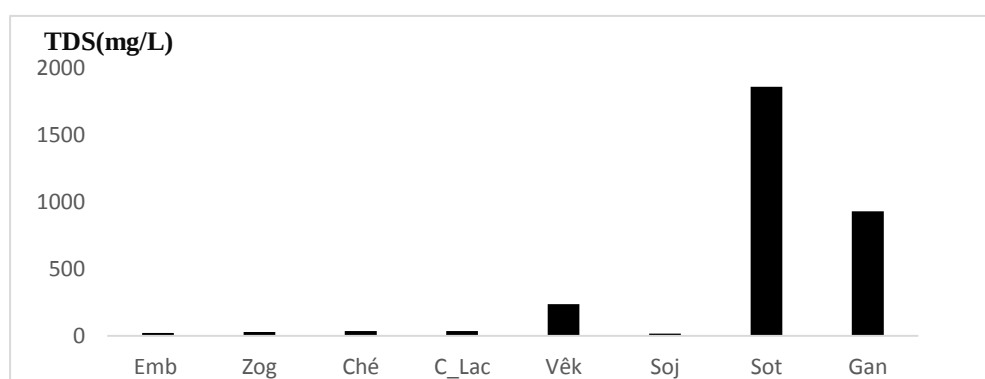
La salinité du milieu est contrôlée par les apports d'eau douce du fleuve, les précipitations directes et les marées via le chenal de Cotonou. La forte valeur est enregistrée en Juillet et en Août au niveau du Chenal et la plus faible valeur est obtenue en Avril à Sojounko et Sotchanhoué. La moyenne de la salinité au niveau de toutes les stations est de $19,14 \pm 8,73$ psu. Les valeurs extrêmes sont 10,81 psu à Vêki et 36,44 psu au niveau du Chenal. La forte valeur obtenue au niveau du chenal serait dû à sa proximité avec l'Océan Atlantique. En effet, l'évolution de la salinité montre que lorsque le débit augmente (période de hautes eaux), la salinité baisse considérablement. Inversement, en saison sèche (étiage). (Mama, 2010).

❖ Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux du lac Nokoué.

**Figure 7** : Conductivité électrique de l'eau du lac Nokoué.

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant, qui dépend de la teneur de l'eau en sels minéraux. Les variations de la conductivité de l'eau aux différents sites sont illustrées par la figure 7. Le Chenal de Cotonou a enregistré la valeur la plus élevée car étant plus proche de l'Océan Atlantique. La conductivité étant étroitement liée à la teneur en sels dissous de l'eau, la concentration élevée au niveau de ce site s'explique par la pénétration de l'eau de l'Océan dans le lac Nokoué à travers le chenal.

❖ Variation spatiale de total solide dissous des eaux du Lac Nokoué



❖ **Figure 8** : Total solides dissous de l'eau du lac Nokoué

La valeur moyenne est de $186,04 \pm 311,26$ mg/L. Les valeurs extrêmes sont 17,76 à Sô Zounko et 927,8 à Ganvié. Les plus fortes valeurs sont observées en juillet à Vêki, dans le Chenal et au Centre du Lac et les plus faibles valeurs sont obtenues en Août à Ganvié, So Tchanhoué.

❖ Variation spatiale de la turbidité des eaux du lac Nokoué

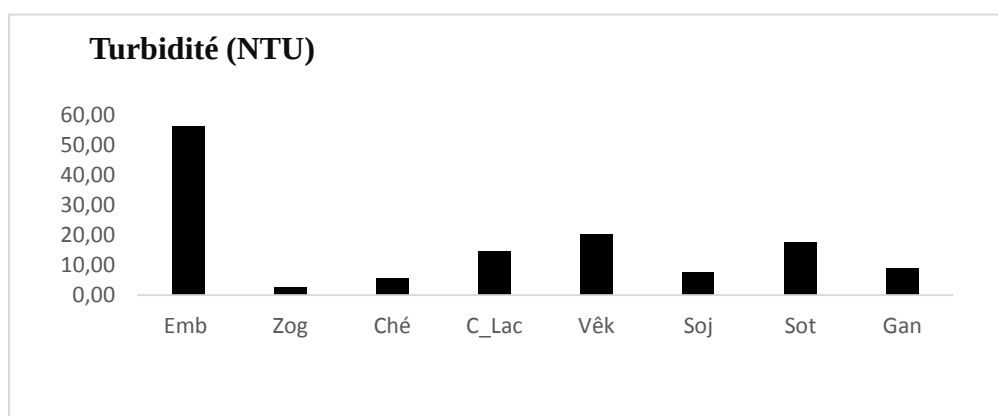


Figure 9 : Turbidité des eaux du lac Nokoué.

La valeur moyenne de la turbidité de l'eau dans le lac est de $47,89 \pm 83,34$ NTU sur l'ensemble des stations avec les valeurs extrêmes qui sont 5,5 NTU au niveau du Chenal et 2,50 NTU à Zogbo. La plus forte valeur est obtenue en juin et en août respectivement à l'Embarcadère

d'Abomey-Calavi et Vêki. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en Avril au niveau de toutes les stations. L'appareil de mesure est le turbidimètre.

❖ Variation spatiale de l'oxygène dissous des eaux du lac Nokoué

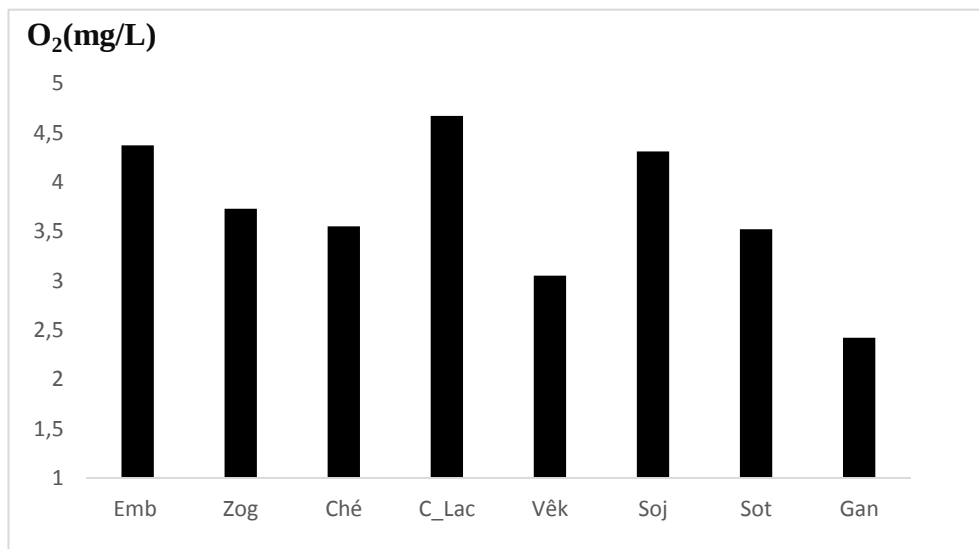


Figure 10 : Variation de l'oxygène dissous des eaux du lac Nokoué.

Les extrêmes sont 2,42 mg/L à Ganvié et 4,67 mg/L au Centre du Lac et la valeur moyenne est de $3,71 \pm 0,74$ mg/L. Les plus faibles valeurs sont observées dans les zones à forte pression anthropique.

❖ Variation temporelle de la matière en suspens des eaux du lac Nokoué

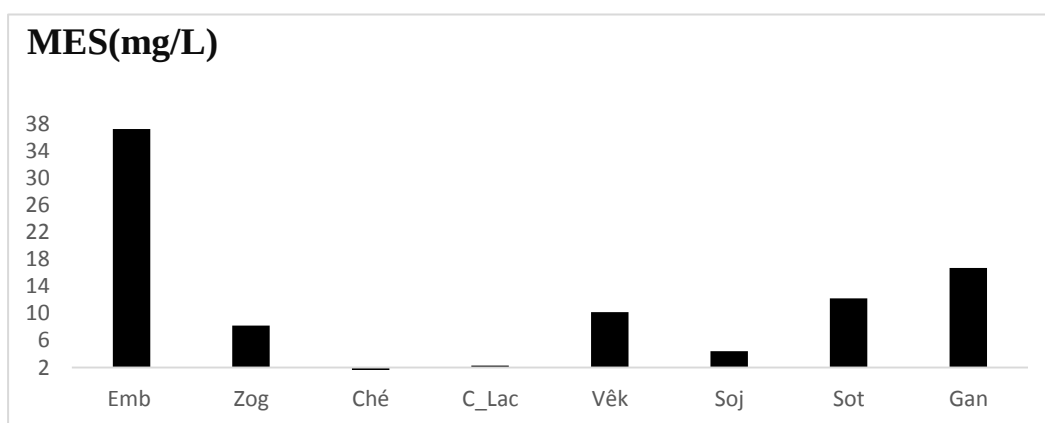


Figure 11 : Matières en suspension des eaux du lac Nokoué

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon. La plus forte valeur est obtenue au niveau de l'Embarcadère et pratiquement nulle au niveau du Chenal et au Centre du Lac. La forte valeur observée au niveau de ce site pourrait s'expliquer par la plus forte pression anthropique.

❖ Variation temporelle de l'ortho-phosphate et du phosphore total

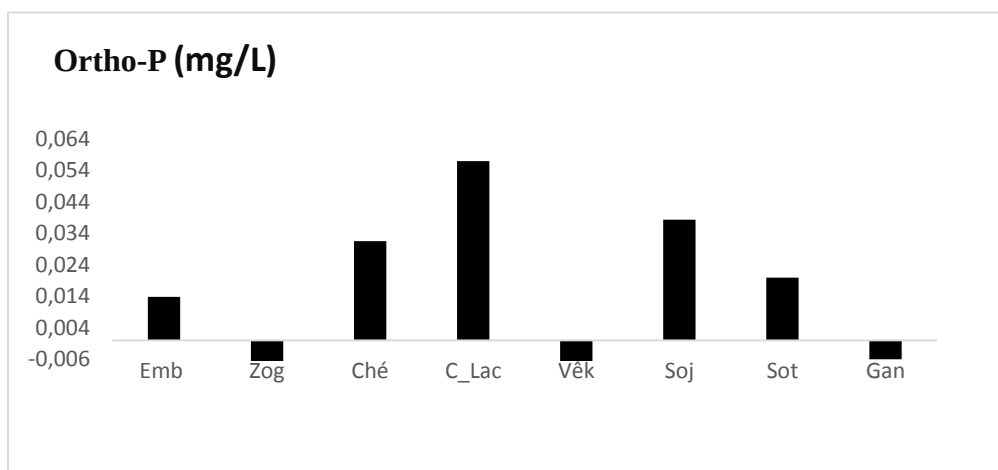


Figure 12 : Ortho-phosphates des eaux du lac Nokoué

Les orthophosphates (PO_4^-) résultent de la dégradation par des bactéries de phosphates organiques provenant notamment du rejet d'eaux usées (métabolisme, poudres à lessiver, industries agro-alimentaires et chimiques...) et de l'utilisation d'engrais. Les concentrations les plus élevées sont observées au centre du Lac, Chenal et Sô Tchanhoué. Les valeurs élevées en ses points pourraient s'expliquer par les différents apports du fleuve Ouémé, la rivière Sô et l'influence des apports de Calavi.

❖ Variation temporelle du phosphore total

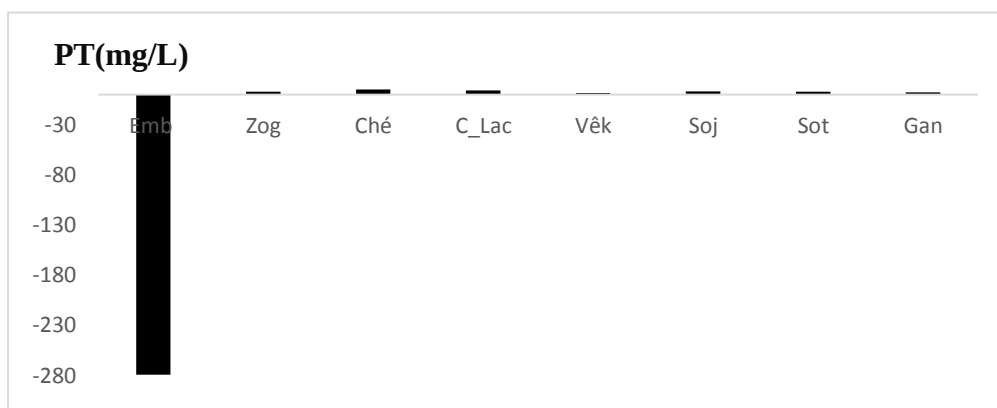
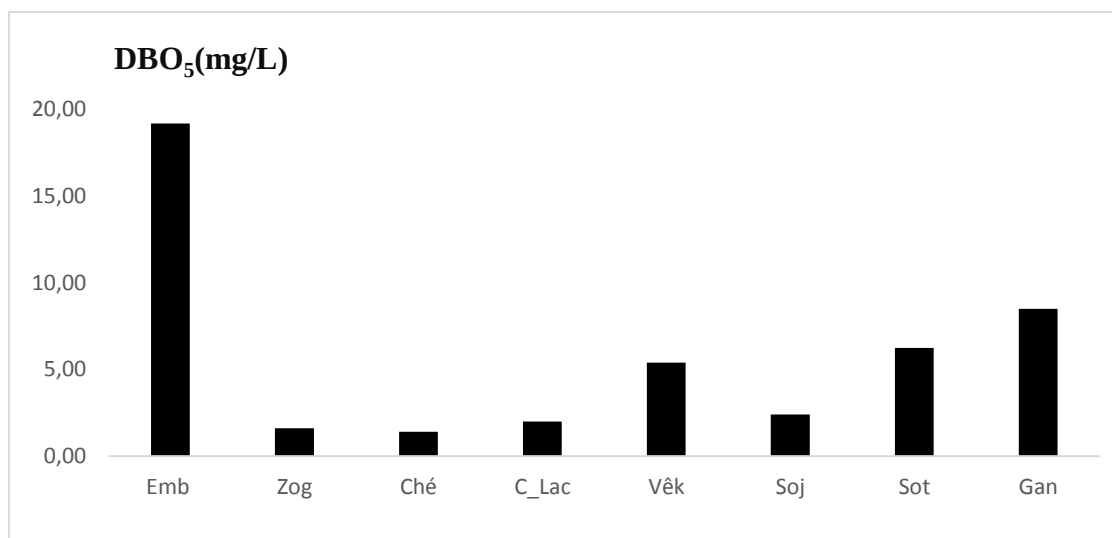


Figure 13 : Phosphore total des eaux lac Nokoué

Le (PT) résulte de l'analyse d'eaux non filtrées. C'est un paramètre important de la fertilisation des plans d'eau. Ce nutriment est un indicateur pertinent de l'évaluation du niveau trophique des eaux. La valeur la plus élevée a été obtenue au niveau du site 3 (Chenal de Cotonou) et est de 5,14 mg/L et la plus faible au niveau de l'Embarcadère (Fig. 13).



❖ Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène des eaux

Figure 14 : DBO₅ de l'eau lac Nokoué

Les valeurs extrêmes qui sont 19,20 mg/L à l'Embarcadère et à Ganvié 8,50 mg/L. Les plus fortes valeurs sont obtenues en Juin et en Août à l'Embarcadère et à Ganvié et les plus faibles valeurs sont enregistrées en Avril et Mai au niveau des stations de Zogbo, chenai, Vêki, So Tchanhoué, So Zounko ce qui s'explique par la décomposition des macrophytes dans le lac. Cette décomposition occasionne une importante consommation d'oxygène dissous et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu.

❖ Variation temporelle des nitrates des eaux du lac Nokoué

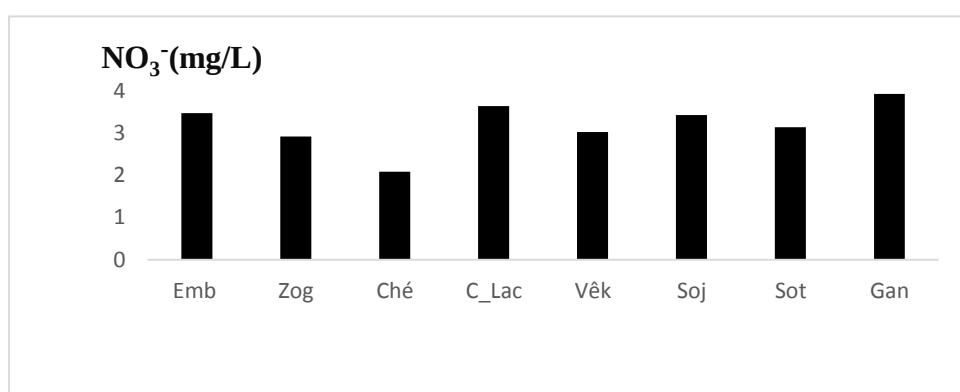


Figure 15 : Nitrates de l'eau du lac Nokoué

Les valeurs de nitrate dosé dans tous les échantillons d'eau prélevées dans le lac se situent entre 2,09 et 3,93 mg/L respectivement au niveau du chenai et Ganvié. L'apports exogène de

nutriments dans le milieu serait dû par les eaux usées rejetées directement dans le lac, les eaux de lessivage par suite des précipitations sur le bassin versant du fleuve Ouémé et de la Sô, ainsi que sur la zone urbanisée à proximité du lac.

Le tableau ci-après présente la grille d'évaluation de la qualité des cours d'eau et nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux du lac Nokoué. Un code en cinq (05) couleurs permet de repérer les différentes classes de qualités, très bonne (bleu) à mauvaise (rouge).

Tableau 3 : Grille d'évaluation de la qualité des cours d'eaux

Paramètres	Moyenne des paramètres	Classe de qualité				
		Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
MES (mg/L)	61,21 ± 58,25	2	25	38	50	>50
Turbidité(NTU)	47,79 ± 83,34	1	35	70	100	>100
Conductivité (ms/cm)	32,78 ± 21,1	>180 <2500	>120 <3000	>60 <3500	>0 <4000	0
Oxygène dissous (mg/L)	3,71 ± 0,74	8	6	4	3	0
Température (°C)	29,04 ± 0,7	24	25,5	27	28	>28
pH	7,97 ± 0,18	>6, 5 <8	>6 <8,5	>5,5 <9	>4,5 <9,5	<4,5 >10
DBO ₅	38,08 ± 17,52	3	6	10	25	>25
Phosphate-total	42,11 ± 25,80	0,05	0,2	0,5	1	>1
Nitrate (NO ₃ ⁻)	38,29 ± 21,13	2	10	25	50	>50

(Source) Agence de l'Eau : Rapport de présentation Août 2003

D'après la comparaison des moyennes des paramètres à la Grille du Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux, les paramètres tels que l'oxygène dissous, la température, le phosphate total, la DBO₅, la conductivité et les MES témoignent d'une qualité mauvaise du lac Nokoué. Tandis que la turbidité, le pH et le nitrate révèlent un bon état écologique du lac Nokoué.

❖ Inventaire de la diversité ichthyologique des poissons du lac Nokoué

Le tableau ci-dessous présente le récapitulatif des espèces rencontrées dans le lac Nokoué lors de notre étude.

Tableau 4 : Liste des espèces inventoriées par station d'étude dans le lac Nokoué

Famille	Genre	Espèce	E mb	Zo g	Ch é	C_ La c	Vê k	Soj	Sot	Gan
<i>Channidae</i>	Parachanna sp	<i>Parachanna obscura</i>	+	—	—	—	—	—	—	—
<i>Cichlidae</i>	Chromidotila pia sp	<i>Chromidotilapia guntheri</i>	+	—	—	—	—	—	—	—
	Tilapia sp	<i>T. senegalensis</i>	+	+	—	—	+	—	+	+
		<i>T. guineensis</i>	+	+	+	+	+	+	++	+
		<i>T. zillii</i>	+	+	—	—	+	+	+	+
		<i>Oreochromis aureus</i>	—	—	—	—	+	+	—	—
		<i>T. walteri</i>	—	—	—	—	—	+	—	—
	Hemichromis sp	<i>Hemichromis fasciatus</i>	+	—	—	—	+	+	+	+
	Oreochromis sp	<i>Oreochromis niloticus</i>	—	—	—	—	—	—	—	+
		<i>Oreochromis aureus</i>	—	—	—	+	—	—	—	—
	Sardinella sp	<i>S. melanotheron</i>	—	—	—	—	—	+	+	+
<i>Clupeidae</i>	Pellonula sp	<i>Pellonula leonensis</i>	+	++	++	+	+	+	—	—
	Pollonula sp	<i>Pellonula miri</i>	—	+	—	—	—	—	—	—
<i>Paralichthyidae</i>	Paralichthys	<i>Paralicht</i>	+	+	++	—	+	+	—	+

Réalisé par : OROU DADO Séidou

	sp	hys								
<i>Mugilidae</i>	Mugil sp	<i>Mugil cephalus</i>	—	+	—	+	—	—	+	—
		<i>Gerrescephalus</i>	—	—	+	—	—	—	—	—
<i>Carrangidae</i>	Carranx sp	<i>Caranx hippos</i>	—	+	+	—	+	—	—	—
<i>Gobiidae</i>	Gobioide sp	<i>Gobioide africanus</i>	—	—	+	—	—	—	—	—
	Gobionellus sp	<i>Gobionellus ocanicus</i>	+	+	++	—	+	—	—	—
<i>Ephippidae</i>	Ephippus sp	<i>Ephippus goreensis</i>	—	—	+	—	—	—	—	—
<i>Carrangidae</i>	Caranx sp	<i>Caranx hippos</i>	—	+	+	—	—	—	—	—
<i>Serranidae</i>	Serranus sp	<i>Epinephelus malabaricus</i>	—	+	+	+	—	+	—	—
<i>Gerreidae</i>	Eugerres sp	<i>Eugerres brasiliensis</i>	+	+	+	+	—	+	—	—
<i>Elopidae</i>	Elops sp	<i>Elops lacerta</i>	+	—	—	—	—	+	—	—
		<i>Elops saurus</i>	+	+	—	—	—	—	—	—
<i>Polypteridae</i>	Erpetoichthys sp	<i>Erpetoichthys</i>	+	—	—	—	—	—	—	—
<i>Clariidae</i>	Clarias sp	<i>Clarias ebriensis</i>	+	—	—	—	—	—	—	—
<i>Haemulidae</i>	Pomadasys sp	<i>Pomadasys jubelini</i>	—	—	+	—	—	+	—	—
<i>Lutjanidae</i>	Lutjanus sp	<i>Lutjanus gorensis</i>	—	—	+	—	—	—	—	—

<i>Claroteidae</i>	Clarotes sp	<i>Clarotes laticeps</i>	—	—	—	+	—	—	—	—
	(Chrysichtys sp)	<i>Chrysichtys auratus</i>	—	+	—	+	—	+	—	—
<i>Hepsetidae</i>	Hepsetus sp	<i>Hepsetus odoe</i>	—	—	—	—	+	—	—	—
Nombre d'individus	25	30	33	46	79	31	33	42	31	30

- : absent, + : présent ($0 < \text{individus} < 10$), ++ : abondants ($10 < \text{individus} < 20$), +++ : très abondants ($\text{individus} > 20$).

Au cours de cette étude, nous avons identifié 30 espèces de poissons appartenant à 18 familles et 25 genres. La diversité des espèces par station varie de 30 à la station de Ganvié et de 79 dans le Chenal. L'espèce la plus abondante est *Pellonula leonensis* de la famille des *Clupeidae*.

❖ Abondance des espèces

Les espèces dominantes sont *Pellonula leonensis* ; *Tilapia guineensis* ; *Gobionellus ocanicus* ; *Hemichromis fasciatus*. L'espèce la plus dominante est *Pellonula leonensis*, avec un effectif de 54 individus, soit 16.62 % des espèces capturées lors de notre campagne d'échantillonnage. Les plus **faibles** forment l'ensemble des espèces dont leur nombre est inférieur à dix (10) individus. Elles sont les plus nombreuses, d'un effectif de 62 individus (toutes espèces confondues d'effectif moins de 10 individus), soit 19.08 % de la totalité des espèces capturées.

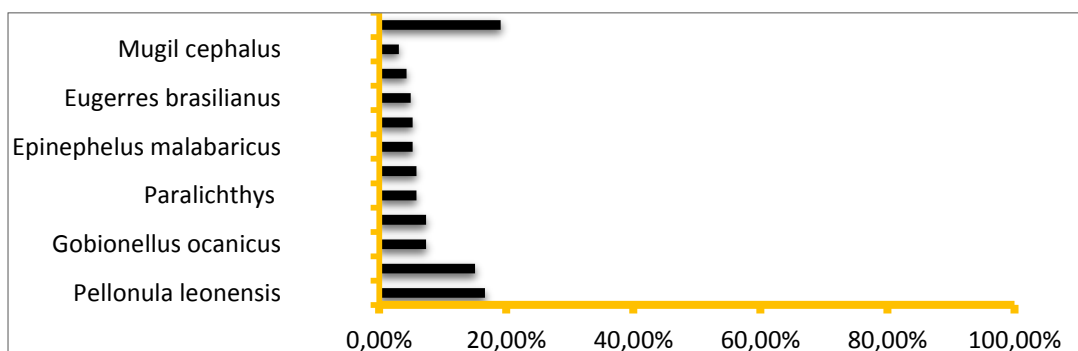


Figure 16 : Abondance des espèces capturées dans le lac Nokoué.

❖ Abondance des individus par station

De l'analyse de cette figure 11 ci-dessous, il ressort que la station la plus peuplée de poissons est la station du Chenal avec 79 individus capturés (toutes espèces confondues), soit 24.31 % des individus capturés. Les espèces de poissons les plus abondantes au niveau de cette dernière sont les *Gobionellus ocanicus* (16 individus), *Pellonula leonensis* (14 individus) et *Paralichthys* (11 individus), toutes d'origine marine. La forte présence de ces espèces dans cette zone est due aux conditions de vie favorables à leur développement, à une quête de nourriture ou à des cachettes pour la reproduction. Les stations les plus pauvres en poissons sont Ganvié, le centre du lac et Sô Tchanhoué. Ce sont des stations situées au Nord du lac à l'exception de la station du centre, où les activités anthropiques en occurrence la pêche sont très développées. Les espèces de poissons les plus capturées sont les poissons Tilapia (*T. Senegalensis*, *T. guinensis*, *T. zillii*) et *S. melanotheron*. La figure 12 nous présente les portions de chaque espèce de poissons capturées lors de notre étude.

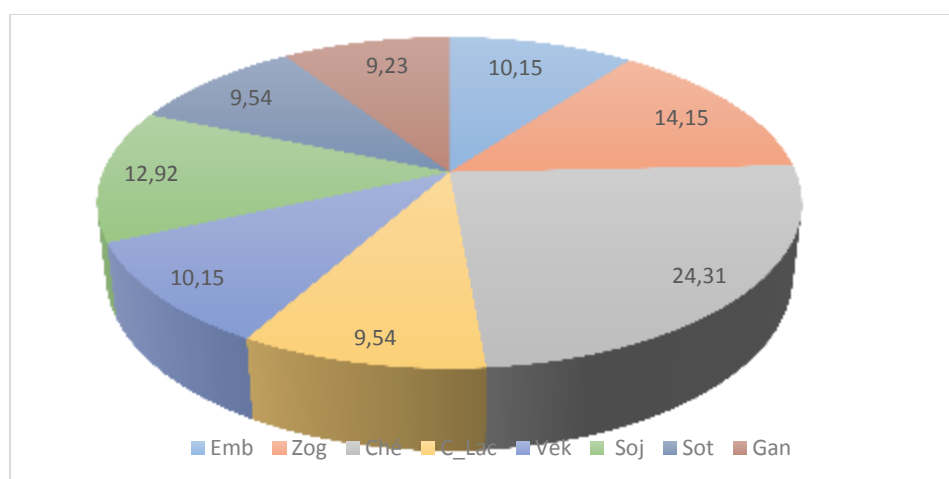


Figure 17 : Abondance des espèces de poissons dans le lac Nokoué

❖ Relation longueur, effectif et le poids des poissons par station

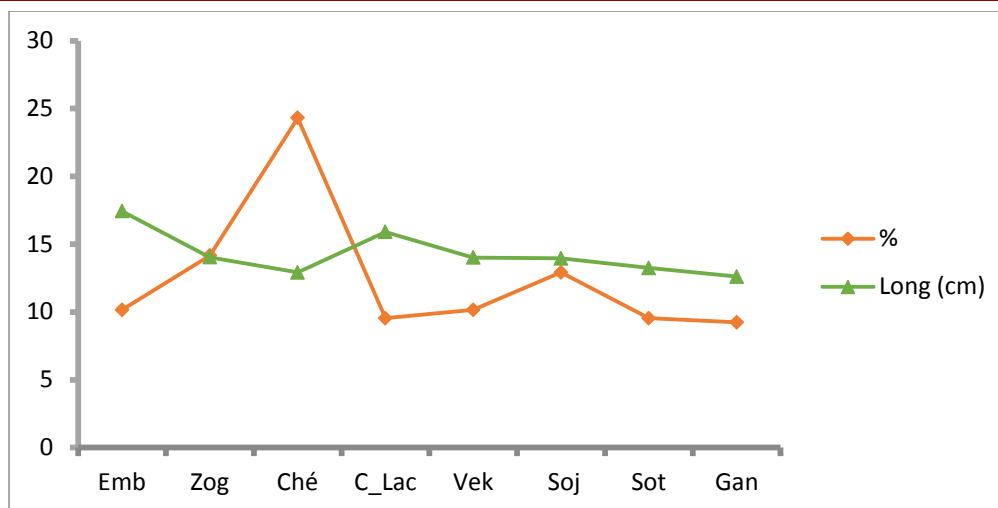


Figure 18 : Relation entre l'effectif et la taille des poissons capturés dans le lac.

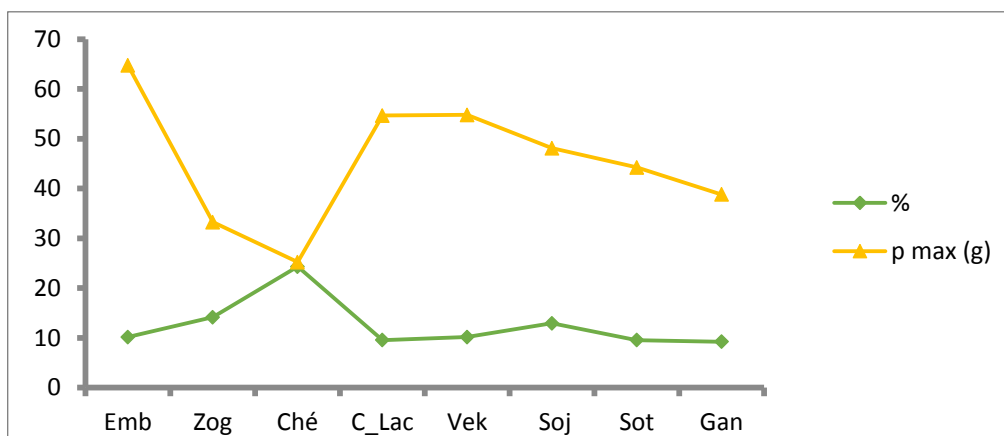


Figure 19 : Relation entre l'effectif et le poids des poissons capturés dans le lac.

De l'analyse des figures 18 et 19 ci-dessus, il ressort que plus les poissons sont abondants dans une zone, plus la moyenne de leurs tailles et de leurs poids diminue. De même, on remarque deux zones d'abondance des poissons dans le lac : la première zone allant de l'Embarcadère jusqu'au Chenal en passant par Zogbo et la seconde zone allant du Chenal jusqu'à Ganvié en passant par le Centre du lac, Vêki, So Zounko, et Sô Tchanhoué. Le Chenal étant la zone la plus riche en poissons parmi nos sites, il présente des poissons ayant des tailles et des poids plus inférieurs que les autres sites. La première zone (embarcadère jusqu'au chenai en passant par le centre du lac) étant celle la plus riche en poissons (abondance croissante), la taille et le poids moyens de ces poissons régressent suivant le sens de départ. La deuxième zone, plus pauvre en poissons que la première, donne des poissons dont la taille et le poids moyens sont moins importants que la première. On peut donc conclure que la variation de ces traits caractéristiques est due soit à l'influence des activités humaines qui ne donne pas assez de chance pour la suivi des poissons.

III.2. RESULTATS DU MODELE HMSC

Les résultats de la figure 20 montrent la fiabilité des inférences

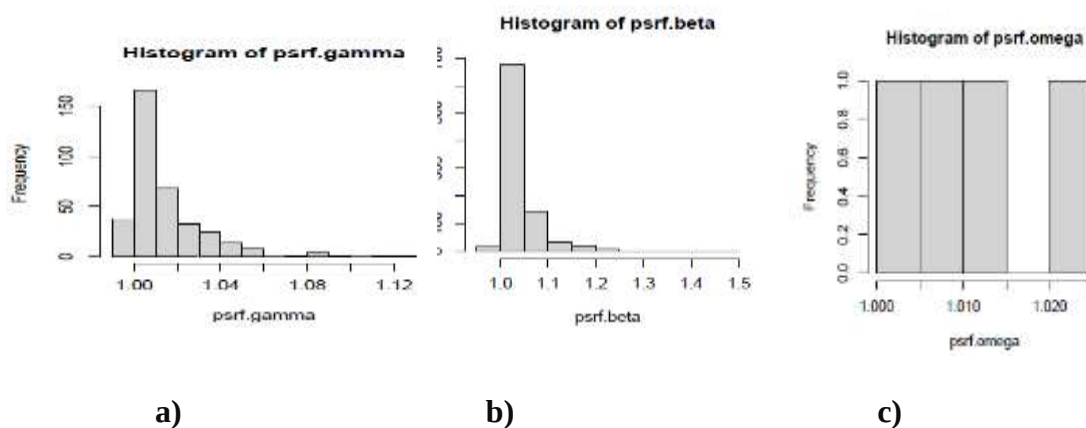


A)

B)

Figure 20 : Evaluation de la fiabilité des résultats avec le modèle HMSC

La figure 20_A nous présente la fiabilité des résultats du modèle. En effet, cette figure montre que le boxsplot indique des valeurs comprises entre 0.8 et 1 et donc, proche de la valeur 1. Cela montre qu'il y a une très bonne convergence entre les chaînes de convergence. La fiabilité des résultats du modèle se confirment également à travers la figure 20_B où les chaînes de convergence sont bien plus proches de 1.



a)

b)

c)

Figure 21 : Facteur de réduction d'échelle

Ces histogrammes (Figure 21) ci-dessus nous montrent que les résultats issus de nos données sont plus concentrés au niveau de la barre 1 (fig. 21-a). Ils sont également compris entre [1 ; 1.04] (fig. 21-b), puis ne dépassent pas les valeurs [1 ; 1.020] (fig. 21-c). On déduit que ces résultats issus du modèle ont une convergence MCMC très bonne.

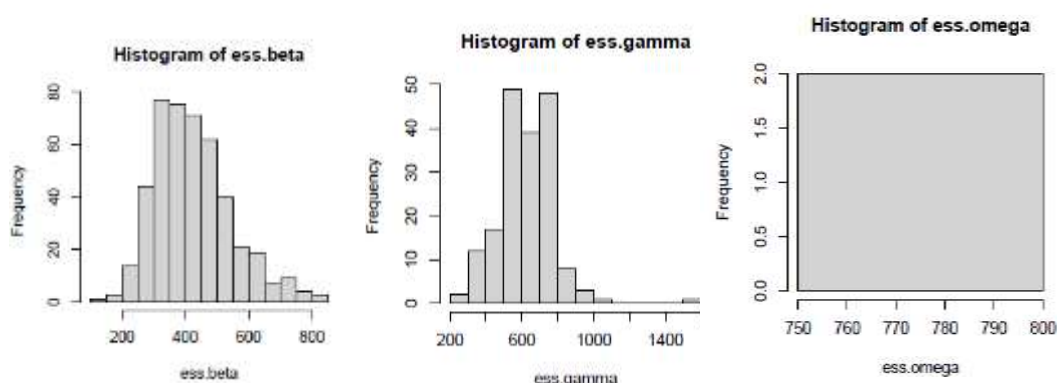


Figure 22 : Tailles d'échantillons effectives

Ces figures 22 ci-dessus montrent que la taille d'échantillonnage obtenue est proche de la taille initiale (taille plus proche de 1000), il y a donc très peu d'autocorrélation entre les échantillons de la MCMC. L'inférence de ce modèle est donc fiable et les résultats valides.

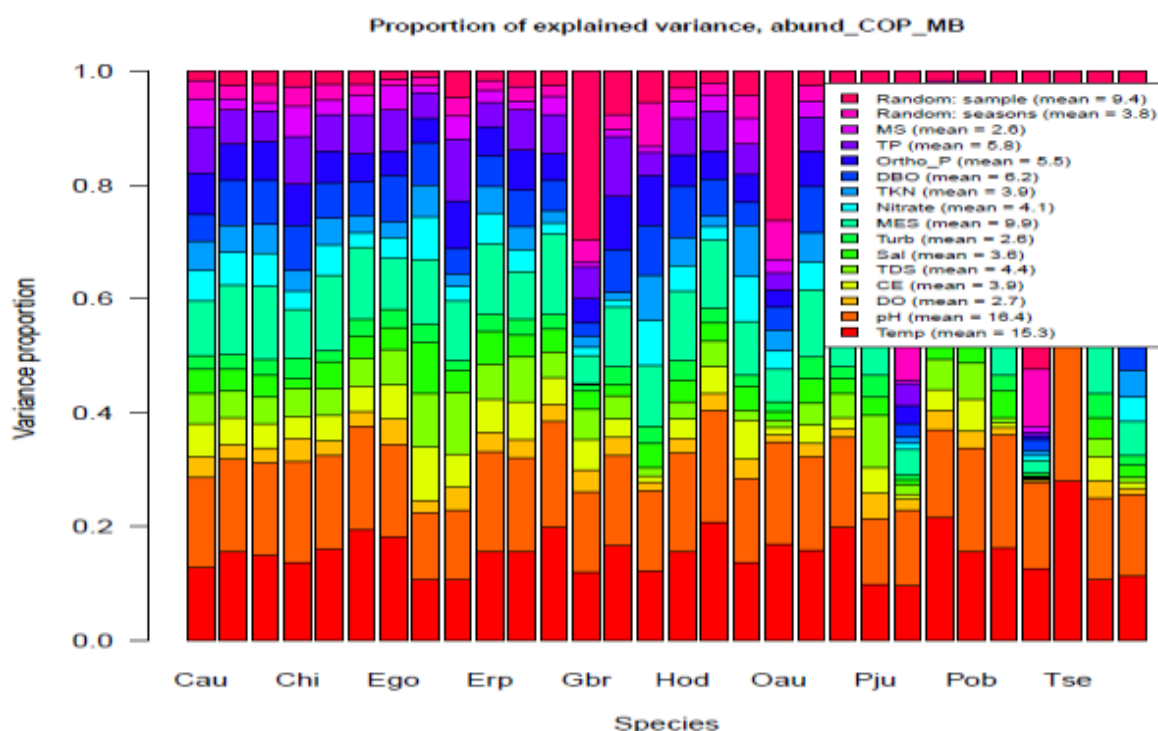


Figure 23 : Variance expliquée des proxys de pression en fonction de chaque espèce.

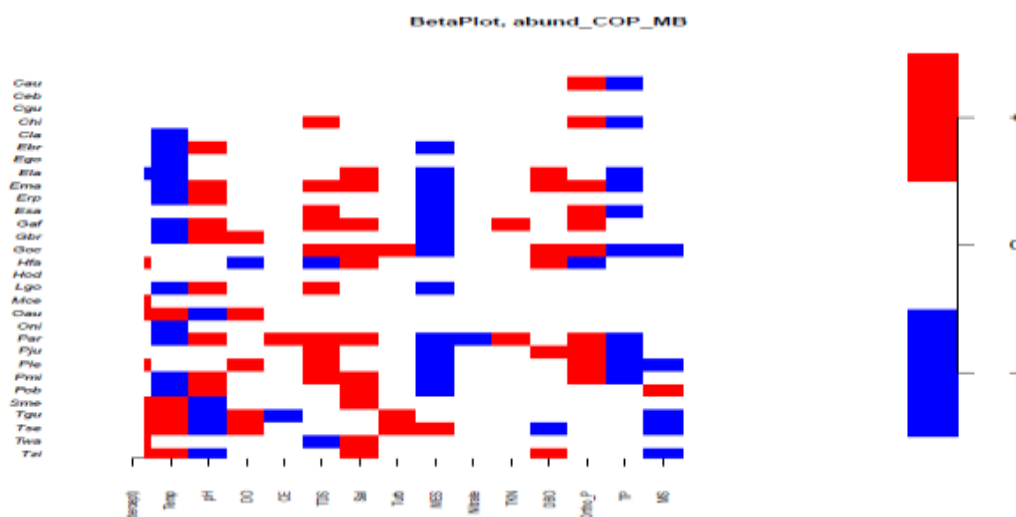
Chrysichthys auratus = **Cau** ; *Caranx hippos* = **Chi** ; *Ephippus goreensis* = **Ego** ;
Erpetoichthys = **Erp** ; *Gerres brasilianus* = **Gbr** ; *Hepsetus odoe* = **Hod** ; *Oreochromis aureus*

= **Oau** ; *Pomadasys jubelini* = **Pju** ; *Parachanna obscura* = **Pob** ; *Tilapia senegalensis* = **Tse**

De l'analyse de la figure 23 il ressort que les pressions anthropiques exercent une influence sur chaque espèce de poissons. Autrement dit, tous les paramètres environnementaux exercent des effets sur chaque espèce. De façon générale, voici les proportions d'impact des proxys sur les espèces : la matière sèche (2.6%) ; le phosphore total (5.8%) ; l'ortho-phosphates à 5.5% ; la DBO₅ à (6.2% ; NTK à (3.9%) ; le nitrate à (4.1%) ; les matières en suspension à (9.9%) ; la turbidité à (2.6%) ; la salinité à (3.6%) ; les TDS à (4.4%) ; la conductivité électrique à (3.9% ; l'oxygène dissous à (2.7%) ; le potentiel d'hydrogène à (16.4% et la température à (15.3%. Les activités anthropiques pratiquées sur le lac augmentent la température, les matières en suspension et le phosphore total de l'eau du lac et cette variation agit directement sur les espèces de poissons.

Random sample représente les variables aléatoires latentes (variables non mesurées) sur le lac. Cette part de variabilité de ces variables était de 9.4%. Cette variabilité n'est pas négligeable vue qu'elle est plus importante que certaines variables considérées lors de notre étude. Il y a une part de variabilité non expliquée par notre modèle.

Random seasons représente la variabilité saisonnière. Cette part de variabilité est faible puisque nous avons considéré deux saisons lors de notre campagne. Sa part de variabilité est



de l'ordre de 3.8%

Figure 24 : Réponse des espèces aux proxys de pressions

Tilapia zillii = **Tzi** ; *Tilapia. Walteri* = **Twa** ; *Tilapia senegalensis* = **Tse** ; *Tilapia. guinensis* = **Tgu** ; *Sardinella melanotheron* = **Sme** ; *Parachanna obscura* = **Pob** ; *Pellonula miri* = **Pmi** ; ; *Pellonula leonensis* = **Ple** ; *Pomadasys jubelini* = **Pju** ; *Paralichthys* = **Par** ; *Oreochromis niloticus* = **Oni** ; *Oreochromis aureus* = **Oau** ; *Mugil cephalus* = **Mce** ; *Lutjanus gorenensis* = **Lgo** ; *Hepsetus odoe* = **Hod** ; *Hemichromis fasciatus* = **Hfa** ; *Gobionellus ocanicus* = **Goc** ; *Gerres brasiliensis* = **Gbr** ; *Gobioide africanus* = **Gaf** ; *Elops saurus* = **Esa** ; *Erpetoichthys* = **Erp** ; *Epinephelus malabaricus* = **Ema** ; *Elops lacerta* = **Ela** ; *Ephippus goreensis* = **Ego** ; *Eugeres brasiliensis* = **Ebr** ; *Clarotes laticeps* = **Cla** ; *Caranx hippos* = **Chi** ; *Chromidotilapia guntheri* = **Cgu** ; *Clarias ebriensis* = **Ceb** ; *Chrysichthys auratus* = **Cau**

La figure 24 nous présente trois (03) réponses : la couleur rouge qui représente une réponse positive ; la couleur bleue qui représente une réponse négative et la couleur blanche qui signifie qu'il n'y a pas de réponse. De l'analyse de cette figure, il ressort que les proxys de pressions exercent des effets sur les espèces de poissons ce qui entraîne soit l'augmentation de leur abondance (rouge), ou soit de leur diminution (bleu). Par exemple, la **température** exerce une réponse positive sur le Tzi, Twa, Tse, Tgu, Sme. Le **pH** quant à lui, exerce une réponse négative sur le Tzi, Tse, Tgu, Oau.. Les **MES** exercent des réponses positives sur le Pob, Pmi, Ple, Hfa, Goc, Gbr, Gaf, Esa et Erp. La **salinité** exerce des réponses positives sur le Tzi, Twa, Sme, Pmi, Ple, Pju, Goc, Gaf, Ema. Le **TDS** quant à lui exerce une réponse positive sur le Pob, Pmi, Par, Lgo, Goc, Gaf, Ema, Ela et Chi. L'oxygène dissous (**DO**) exerce une réponse positive sur le Tse, Tgu, Ple, Oau, Gbr. La **MS** exerce une réponse négative sur le Tzi, Tse, Ple et Goc. D'une manière générale, nous pouvons dire que la température exerce des effets positifs sur les Cichlidae, le pH quant à lui agit sur les Channidae, les Gerreidae, les Gobiidae et les Serranidae. La salinité agit entre autre sur les Cichlidae et les Serranidae et enfin les ortho-phosphates ont un effet sur les Clupeidae, Haemulidae, Elopidae et les Serranidae.

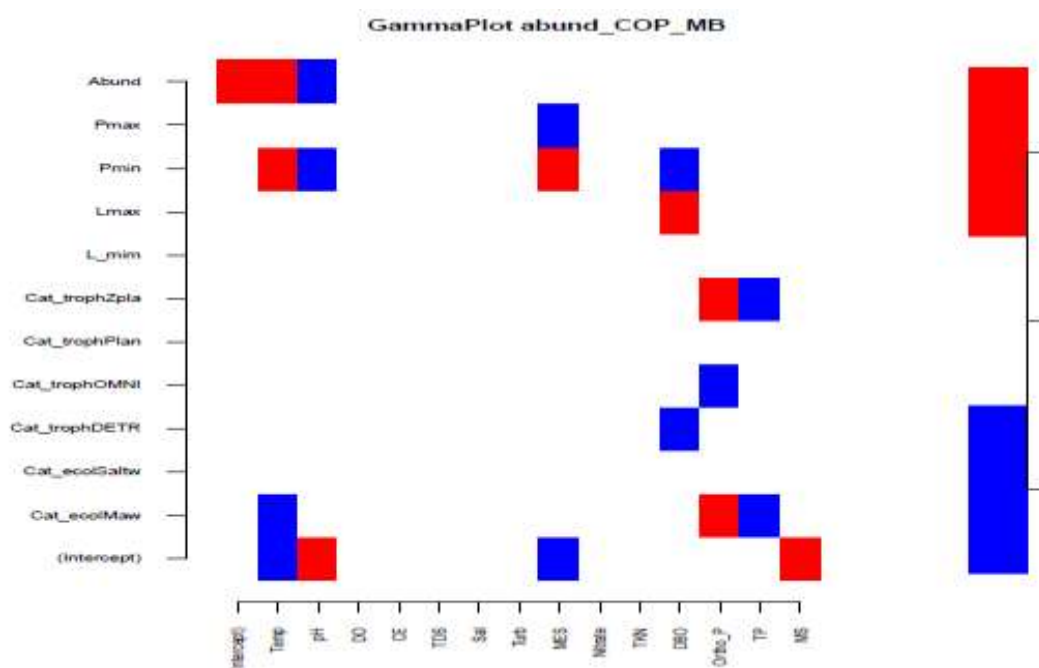


Figure 25 : Réponses des traits fonctionnels des espèces aux proxys de pressions

Catégorie trophique = **Cat_trop** ; Catégorie écologique = **Cat_ecol** ; Longueur minimale = **Lmin** ; Longueur maximale = **Lmax** ; Poids minimal = **Pmin** ; Poids maximal = **Pmax** ; Abondance = **Abund**

La figure 25 ci-dessus nous montre l'influence des paramètres physico-chimiques sur la diversité des poissons du lac à travers les traits biologiques. Ainsi, **la température (T°C)** influence sur l'Abondance (Abond) et le poids min (Pmin) des poissons et entraîne l'augmentation des traits fonctionnels des espèces poissons. **Le potentiel d'hydrogène (pH)**, quant à lui, influence sur les traits fonctionnels (l'abondance et poids minimal) en provoquant leurs diminutions. **Les matières en suspensions (MES)** influencent sur le poids min (**Pmin**) et le poids max (Pmax) en provoquant respectivement l'augmentation et la diminution des traits fonctionnels des poissons. **La demande biologique en oxygène (DBO)** influence sur la longueur max (Lmax) et le poids min (Pmin) en provoquant respectivement l'augmentation et la diminution des traits fonctionnels des espèces de poissons. **L'Ortho-phosphate (Ortho_P)** influence sur la Catégorie trophique (Cat_trop) et la Catégorie écologique (Cat_ecol) et entraîne l'augmentation des traits fonctionnels des espèces de poissons. **Le phosphore total (PT)** influence sur la Catégorie trophique (Cat_trop) et la Catégorie écologique (Cat_ecol) et entraîne la diminution des traits fonctionnels des espèces de poissons. De manière générale **la température (T°C)** et **l'Ortho-phosphate (Ortho_P)** induisent l'augmentation des traits fonctionnels/biologiques des espèces de poissons du lac Nokoué tans disque le potentiel

d'Hydrogène et le phosphore total entraînent la diminution des traits fonctionnels de ces poissons.

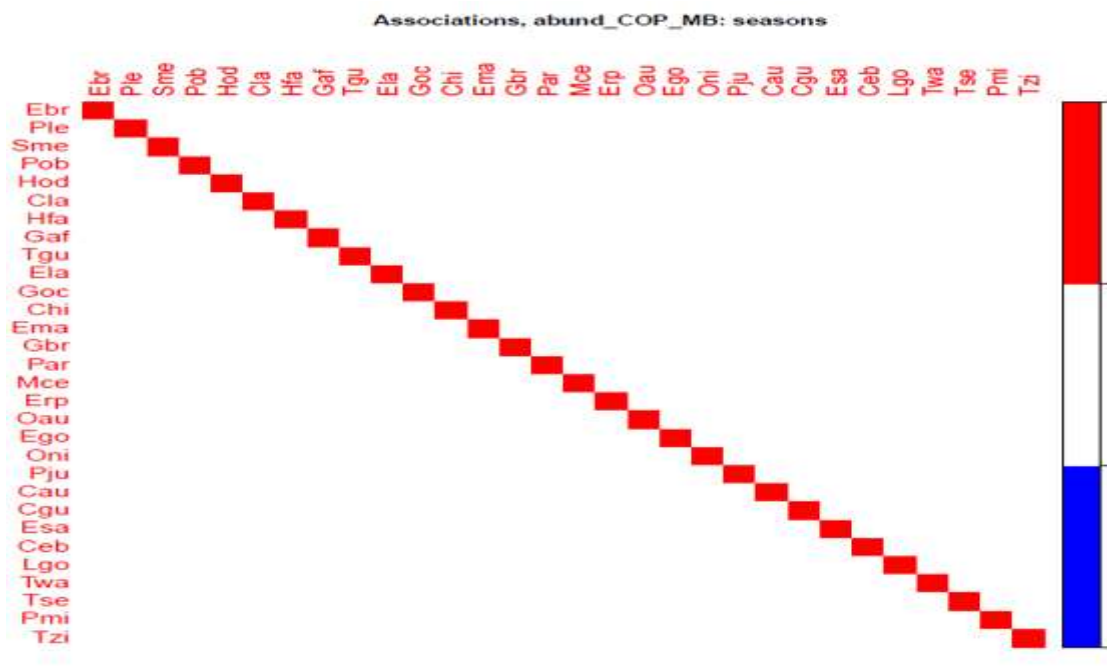


Figure 26 : Association résiduelle des poissons pendant les saisons

Tilapia zillii = **Tzi** ; *Tilapia. Walteri* = **Twa** ; *Tilapia senegalensis* = **Tse** ; *Tilapia. guinensis* = **Tgu** ; *Sardinella melanotheron* = **Sme** ; *Parachanna obscura* = **Pob** ; *Pellonula miri* = **Pmi** ; ; *Pellonula leonensis* = **Ple** ; *Pomadasys jubelini* = **Pju** ; *Paralichthys* = **Par** ; *Oreochromis niloticus* = **Oni** ; *Oreochromis aureus* = **Oau** ; *Mugil cephalus* = **Mce** ; *Lutjanus gorenensis* = **Lgo** ; *Hepsetus odoe* = **Hod** ; *Hemichromis fasciatus* = **Hfa** ; *Gobionellus ocanicus* = **Goc** ; *Gerres brasiliensis* = **Gbr** ; *Gobioide africanus* = **Gaf** ; *Elops saurus* = **Esa** ; *Erpetoichtys* = **Erp** ; *Epinephelus malabaricus* = **Ema** ; *Elops lacerta* = **Ela** ; *Ephippus goreensis* = **Ego** ; *Eugerres brasiliensis* = **Ebr** ; *Clarotes laticeps* = **Cla** ; *Caranx hippos* = **Chi** ; *Chromidotilapia guntheri* = **Cgu** ; *Clarias ebriensis* = **Ceb** ; *Chrysichthys auratus* = **Cau**

La figure 26 ci-dessus nous présente l'association des espèces entre les saisons. On remarque qu'il n'y a pas d'assemblage particulier entre les espèces pendant les saisons puisque notre étude n'a pas couvert toutes les saisons (uniquement deux saisons pour cette étude).

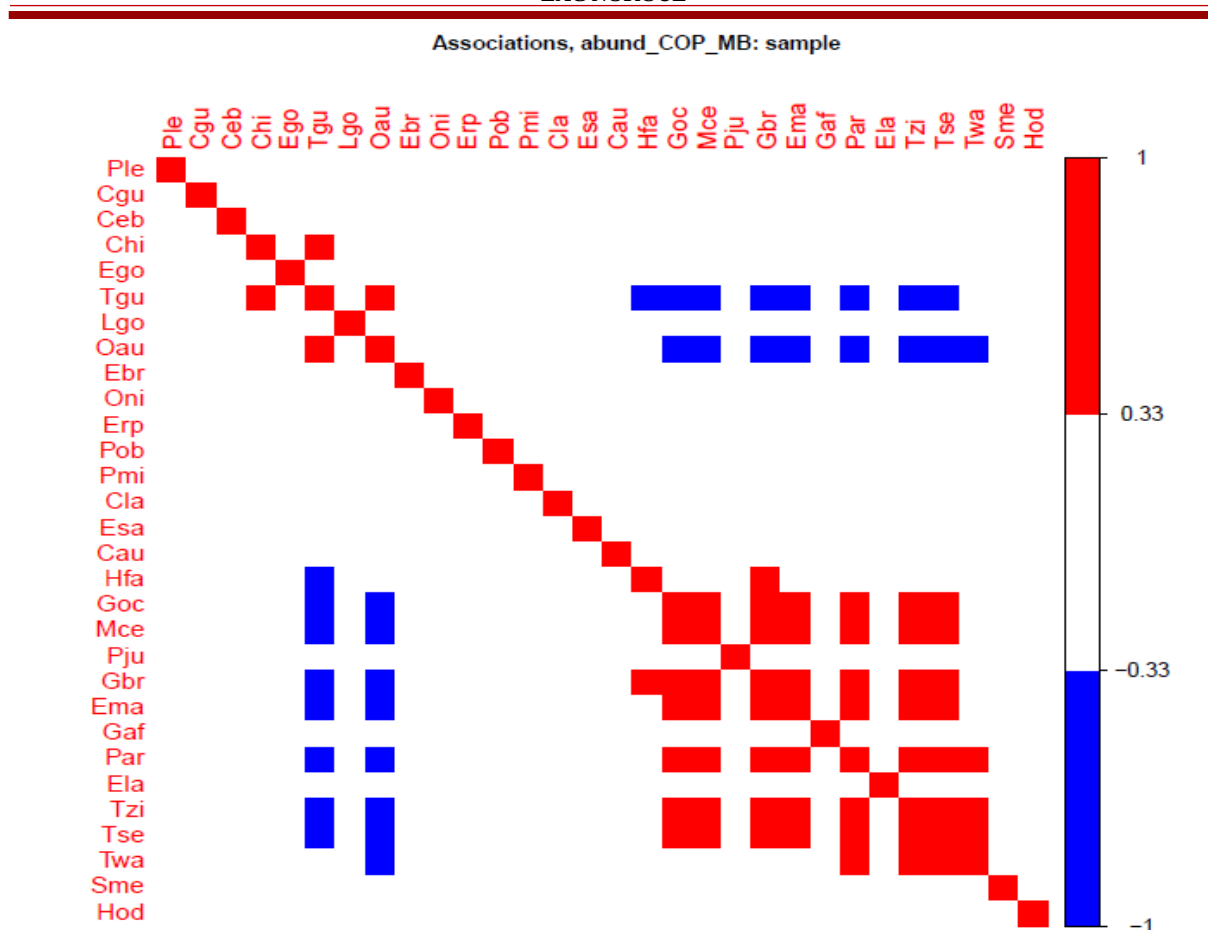


Figure 27 : Interaction des espèces par station

Tilapia zillii = **Tzi** ; *Tilapia. Walteri* = **Twa** ; *Tilapia senegalensis* = **Tse** ; *Tilapia. guinensis* = **Tgu** ; *Sardinella melanotheron* = **Sme** ; *Parachanna obscura* = **Pob** ; *Pellonula miri* = **Pmi** ; ; *Pellonula leonensis* = **Ple** ; *Pomadasys jubelini* = **Pju** ; *Paralichthys* = **Par** ; *Oreochromis niloticus* = **Oni** ; *Oreochromis aureus* = **Oau** ; *Mugil cephalus* = **Mce** ; *Lutjanus gorensis* = **Lgo** ; *Hepsetus odoe* = **Hod** ; *Hemichromis fasciatus* = **Hfa** ; *Gobionellus ocanicus* = **Goc** ; *Gerres brasiliensis* = **Gbr** ; *Gobioide africanus* = **Gaf** ; *Elops saurus* = **Esa** ; *Erpetoichthys* = **Erp** ; *Epinephelus malabaricus* = **Ema** ; *Elops lacerta* = **Ela** ; *Ephippus gorensis* = **Ego** ; *Eugerres brasiliensis* = **Ebr** ; *Clarotes laticeps* = **Cla** ; *Caranx hippos* = **Chi** ; *Chromidotilapia guntheri* = **Cgu** ; *Clarias ebriensis* = **Ceb** ; *Chrysichthys auratus* = **Cau**

La figure 27 nous présente des interactions entre les différentes espèces selon les stations. Il s'agit des interactions positives entre les mêmes espèces de poissons d'une part, des interactions négatives entre les poissons de même famille d'autre part et des interactions négatives entre les poissons de différentes espèces. Ainsi, les individus d'une même espèce

comme Hod, Sme et Twa interagissent positivement ; Tzi et Twa qui sont des espèces de la même famille interagissent négativement. Ego, Tse, Par, Lgo sont des espèces de différentes familles qui interagissent négativement entre elles.

III.3. Analyse en Composante Principale

L'analyse en composantes principales (Figure 27 et 28) ci-dessous a permis d'aboutir à une corrélation des paramètres environnementaux autour des axes 1 et 2 nommés respectivement Dim 1 et Dim 2. Ces axes expliquent 76,43 % de la variabilité observée dont 51,06 % pour l'axe 1 et 25,37 % pour l'axe 2. Les résultats de l'analyse en Composante Principale (ACP) révèlent que les deux axes donnent 76,43 % de la variance totale, ce qui est significatif sur toute la variabilité d'influence des paramètres sur les stations. L'analyse de la corrélation de ces paramètres physico-chimiques (figure 27 & 28) montre que la température, les solides totaux dissous (TDS) et la matière en suspension (MES) sont fortement corrélés entre eux avec cet axe qui représente 51,06% de la variance totale et caractérisent la station 8 (Ganvié). Ce qui explique que ces éléments participent au processus de la pollution d'origine anthropique dans cette zone. En ce qui concerne, le potentiel d'hydrogène (pH), la profondeur, la conductivité électrique (**CE**), l'oxygène dissous et la salinité sont également corrélés entre eux avec cet axe qui représente 25,37 % de la variance totale et révèlent le statut des stations 3 (Chenal) et 4 (Centre du Lac). Ceci explique que ce sont ces éléments qui participent au processus de la minéralisation. Par contre, la turbidité, la matière sèche (**MS**), la demande biochimique d'oxygène (**DBO₅**), le nitrate (**NO₃⁻**) et l'ortho-phosphate témoignent également d'une très bonne corrélation et caractérisent la station 2 (Zogbo). Ce qui explique que les zones sont exposées à des pollutions d'origine diverse. Les stations 1, 5, 6 et 7 enregistrent des valeurs faibles pour ces différents paramètres physico-chimiques.

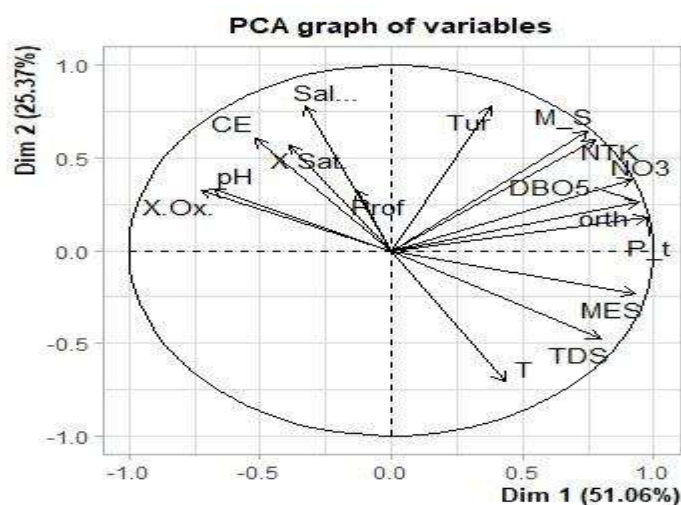
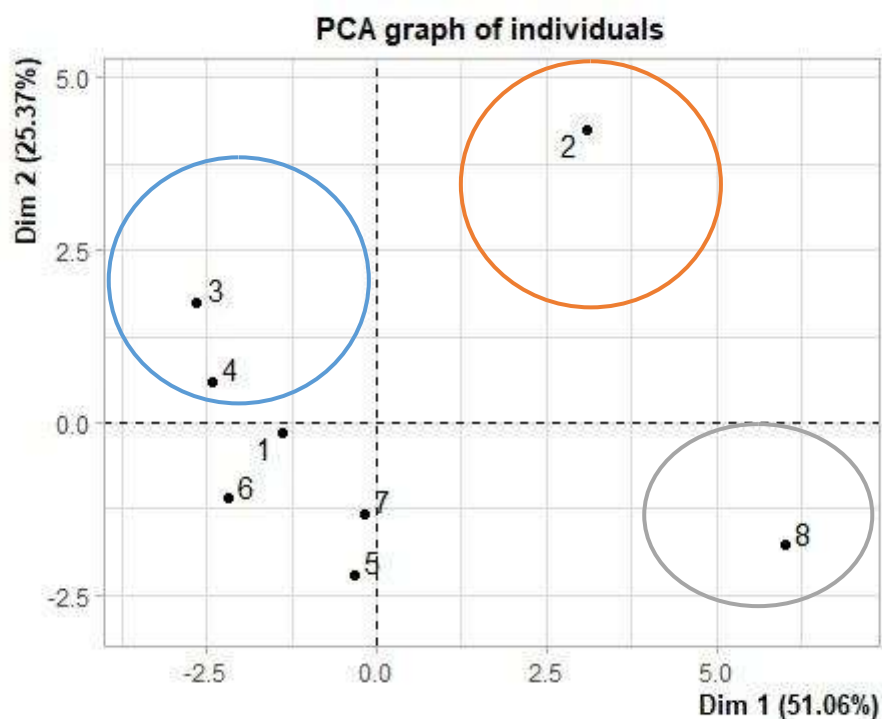


Figure 28 : ACP des paramètres physico-chimiques**Figure 29** : Classification des stations d'échantillonnage

- 1- L'embarcadère d'Abomey-Calavi ; 2- Zogbo ; 3- Chenal ; 4- Centre du Lac ;
5-Vêki ; 6- Sojounko ; 7- Sotchanhoué ; 8- Ganvié

Tableau 5 : Matrice de corrélation

Paramètres	T°C	pH	DO	CE	TDS	Sal	Turb	MES	NO ₃ ⁻	TKN	DBO	Ortho_P	TP	MS
T°C	1													
pH	-0,99	1												
DO	0,31	-0,28	1											
CE	-0,68	0,64	-0,50	1										
TDS	-0,43	0,42	0,28	0,56	1									
Sal	-0,53	0,52	-0,73	0,75	0,17	1								
Turb	0,42	-0,47	0,04	0,01	0,05	0,06	1							
MES	0,84	-0,82	0,20	-0,82	-0,71	-0,66	0,09	1						
NO ₃ ⁻	0,27	-0,23	0,63	-0,66	-0,01	-0,64	-0,23	0,37	1					
TKN	-0,37	0,31	-0,52	0,72	0,30	0,65	0,04	-0,49	-0,60	1				
DBO	-0,65	0,62	-0,39	0,57	0,43	0,61	-0,16	-0,73	-0,10	0,31	1			
Ortho_P	-0,15	0,12	0,41	0,37	0,90	0,05	0,38	-0,51	0,03	0,20	0,22	1		
TP	0,18	-0,15	-0,23	-0,50	-0,91	-0,21	-0,37	0,56	0,03	-0,32	-0,39	-0,95	1	
MS	-0,75	0,77	-0,64	0,53	-0,09	0,62	-0,45	-0,48	-0,46	0,31	0,42	-0,37	0,29	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,01$.

DISCUSSION

La présente étude a permis d'évaluer l'impact des activités anthropiques du lac Nokoué sur la diversité des traits biologiques des poissons. Les variations des paramètres physico-chimiques obtenues diffèrent d'un site à l'autre et de la période d'échantillonnage.

Dans le Lac Nokoué, la température moyenne de l'eau enregistrée est de 29.04°C. Cette valeur est similaire à celle obtenue par Dovonou *et al.* 2011 sur le même lac. En effet, d'après les travaux de Traoré *et al.* (2014). Les températures moyennes de l'eau comprises entre 23 °C et 31 °C sont tolérables pour la plupart des espèces tropicales.

Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. C'est un paramètre qui détermine l'activité chimique des ions hydrogène en solution (Les données de l'IBGE, 2005). Le pH de notre milieu d'étude varie entre 7.47 et 8.62 avec une moyenne de 7.72. Le Système d'évaluation de la qualité de l'eau au Bénin permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités. Les valeurs du pH de ce lac étant comprises dans la limite des normes qui est de 6,5 à 8,5, le lac Nokoué est classé eutrophe.

Les orthophosphates sont les différentes formes du phosphore dans l'eau la plus simple et la plus répandue. Les matières phosphorées ont pour origine l'érosion du sol, des activités agricoles, l'industrie et les rejets urbains. Dans le lac, la concentration des orthophosphates varie d'un site à un autre et la plus grande valeur obtenue à Ganvié serait due à la densité de la population.

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). La zone d'étude est marquée par une variation du taux de phosphore d'un point à un autre. La valeur minimale (20.76 mg /L) est obtenue à Sojounko et une valeur un peu plus élevée (91.20 mg/L) à Ganvié avec une moyenne de 42.11 mg/L. Les concentrations de phosphates du lac sont supérieures à la limite admissible de 0,5 mg/L et peuvent être considérées comme un indicateur de pollution (Agblonon Houelome, 2017). Ces valeurs obtenues dans notre milieu d'étude sont supérieures à celles obtenues par Mama *et al.*, 2011. Ces fortes valeurs pourraient s'expliquer par l'apport

anthropique d'une part et ceux des eaux de ruissellement qui communiquent avec le lac et d'autre part à travers les différents canaux.

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 (Keddari, 2015). La DBO₅ de l'eau du lac Nokoué dans le cadre de notre étude est comprise entre 24, 42 mg O₂/L et 70,12 mg O₂/L et varie suivant les saisons. Ces résultats ne sont pas conformes à ceux obtenus par Dovonou *et al*, 2011 (10 mg/L et 29 mg/L). Selon lui, dans un milieu nettement pollué, de faibles valeurs de la DBO₅ peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs.

Les matières solides en suspension permettent de connaître la quantité de matières non dissoutes. Les valeurs de la matière en suspension (MES) varient entre 1 mg/L et 122.33 mg/L sur le lac Nokoué. La plus faible valeur de MES est obtenue en Mai au centre du lac et la plus forte valeur de MES en Juin à l'embarcadere. Les affluents du lac Nokoué drainent un grand bassin versant. Les phénomènes d'érosion pourraient expliquer les valeurs de MES du lac Nokoué (Lamizana-Diallo *et al*, 2008). Les grandes valeurs de MES dans cette zone pourraient s'expliquer par la forte densité de la population. Ceci montre combien de fois les activités humaines pratiquées non seulement sur et aux abords du lac peuvent contribuer à la pollution de cet écosystème fragile. Les valeurs de MES obtenues sont supérieures aux valeurs relevées par Lawani en 2013.

La teneur en oxygène dissous renseigne sur les activités métaboliques du milieu. Les extrêmes sont 2,42 mg/L à Ganvié et 4,67 mg/L au Centre du Lac et la valeur moyenne est de 3,71±0,74 mg/L. La plus forte valeur est enregistrée en Août à Vêki et au Centre du Lac et la plus faible valeur est obtenue en Avril au niveau des stations de Sô Tchanhoué et Sô Zounko. Les plus faibles valeurs sont observées dans les zones à forte pression anthropique. Il convient toutefois de préciser qu'en période de crue, le lac subit une invasion de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Cette invasion s'accompagne d'une diminution de la quantité d'oxygène dissous (Mama, 2010). Le comportement des poissons peut changer lors de fortes baisses de la concentration en oxygène (Franklin 2014). Un comportement observé en condition d'hypoxie est la migration verticale des poissons vers la surface, la zone ayant la plus forte concentration d'oxygène par son contact avec l'atmosphère (Kramer 1987 ; Franklin

2014). La croissance des poissons peut être corrélée positivement à la quantité d'oxygène dans le milieu, plus particulièrement, dans les premières années de vie (Bejda *et al.* 1992). Dans les cas extrêmes, un taux d'oxygène trop bas peut mener à la mortalité d'une majorité de poissons (Franklin 2014).

Les paramètres physico-chimiques étudiés ont une influence considérable sur les traits biologiques des poissons du lac. Le modèle HMSC a fourni des estimations quantitatives de l'effet des facteurs physico-chimiques sur l'abondance relative des espèces classées en danger et menacées de disparition). En effet, comprendre de manière quantitative les tolérances des espèces aux caractéristiques abiotiques d'un milieu est nécessaire pour anticiper les changements que pourraient apporter des mesures de conservation et des changements environnementaux à grande échelle tels que le réchauffement climatique (Lynch *et al.*, 2016). Ainsi la température exerce une réponse positive sur le Tzi, Twa, Tse, Tgu, Sme. Elle augmente l'abondance et le poids minimal des poissons, favorise négativement la catégorie écologique (Cat_ecolMaw). La température peut aussi exercer une influence sur les communautés de poissons. En effet, les espèces sont plus ou moins tolérantes à la hausse de température, lorsque la température des eaux augmente on aperçoit un changement de comportement (Daufresne *et al.* 2009 ; Jeppesen *et al.*, 2010 ; Lynch *et al.*, 2016). À plus grande échelle, il peut y avoir un déplacement de la zone de distribution vers les pôles pour les espèces d'eaux froides (Morgan *et al.* 2001 ; Daufresne *et al.* 2009). Le pH quant à lui, exerce une réponse négative sur le Tzi, Tse, Tgu, Oau. Il diminue et régresse respectivement l'abondance et le poids minimal des espèces de poissons. De même, le phosphore total et l'ortho-phosphate ayant une réponse neutre sur le Tzi, Twa, Tse, Tgu, Sme et Pob, ces paramètres exercent des réponses antagonistes sur le Pmi, Ple et Pju, Chi et Cau. Les MES quant à eux exercent des réponses positives sur le Pob, Pmi, Ple, Hfa, Goc, Gbr, Gaf, Esa et Erp. La matière en suspension (MES) influence sur les traits fonctionnels en augmentant le poids minimal (Pmin) et inversement pour le poids maximal (Pmax).

L'oxygène dissous (**DO**) exerce une réponse positive sur le Tse, Tgu, Ple, Oau, Gbr. En ce qui concerne la DBO, elle a une influence négative sur la plupart des poissons du lac sauf le Tse. D'une manière générale, nous pouvons dire que la température exerce positivement sur les Cichlidae, le pH sur les Channidae, les Gerreidae, les Gobiidae et les Serranidae. Orthophosphates sur les Clupeidae, Haemulidae, Elopidae et les Serranidae.

CONCLUSION ET SUGGESTION

Cette étude a permis d'identifier les principaux facteurs qui influencent les traits fonctionnels des poissons du Lac Nokoué. L'approche méthodologique basée sur la collecte des données de terrain et d'un laboratoire a permis d'aboutir à des résultats suivants. Au total 318 poissons réparties en 18 familles, 25 genres et 30 espèces ont été recensées. En raison de son hydrographie, le lac Nokoué constitue le réceptacle des cours d'eau en provenance du fleuve Ouémé, de la rivière Sô, les collecteurs d'eaux pluviales en provenance des villes environnantes. Les activités menées autour et sur cet écosystème modifient la qualité des eaux de ce milieu et des poissons qui y vivent. De même, l'eutrophisation de l'eau de ce lac provoque une prolifération de la jacinthe d'eau et par conséquent une diminution de l'oxygène dissous disponible pour la faune ichthyologique. Le modèle HMSC utilisé nous a permis de mieux comprendre la part de chaque paramètre physico-chimique sur les différentes espèces rencontrées dans notre étude. Tous ces facteurs entravent le fonctionnement normal de l'écosystème et pourraient engendrer une perturbation de la perpétuation de la faune ichthyologique. Les indices écologiques ont également révélé des stress élevés sur les communautés de poissons. En regard à tous ces résultats nous suggérons ce qui suit :

- ✓ Modérer de façon significative les activités pratiquées dans cet écosystème,
- ✓ Poursuivre de manière périodique l'impact des actions anthropiques sur la qualité de l'eau et la répartition des poissons dans cet écosystème,
- ✓ Étendre les campagnes d'échantillonnages en prenant en compte d'autres variables,
- ✓ Densifier les points d'échantillonnages,
- ✓ Élaborer un plan de suivi de cet écosystème,
- ✓ Sensibiliser la population sur l'importance de la protection et la préservation des écosystèmes aquatiques.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

ADITE A., WINEMILLER K. O. 1997. Trophic ecology and ecomorphology of fish assemblages in coastal lakes of Benin, West Africa. *Ecoscience*. Vol 4 (1) : 6 – 23. 16 p.

ADJAGODO A., AGASSOUNON D. T. M., KELOME C. N. et LAWANI R. 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique Available online at <http://www.ifgdg.org> *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(3) : 1459-1472, June 2016 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

AINA M.P., DEGILA H., CHIKOU A., ADJAHATODE F & G MATEJKA., 2012. Risk of intoxication by heavy metals (Pb, Cd, Cu, Hg) connected to the consumption of some halieutic species in lake Nokoué : case of the *Peanus* shrimps and the *Sarotherodon melanotheron*. *British Journal of Science.*, Vol. 5 (1). 104-118. 14p.

AMOUSSOU A. R. K. 2020. Pollution mercurielle des eaux des milieux lacustres : cas des lacs ahémé et nokoué au Sud bénin. Mémoire de master pour l'obtention du diplôme de master en hydrologie. Université d'Abomey - Calavi. 83p.

AYI FANOU L., MOBIO T. A., CREPPY E. E., FAYOMI B., FUSTONI S., MØLLER P., KYRTOPOULOS S., GEORGIADIS P., LOFT S., SANI A., SKOV H., ØVREBØ S., AUTRUP H. 2006. Survey of air pollution in Cotonou, Benin – air monitoring and biomarkers. *Sc. Environ.*, 358 : 85–96. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.03.025>.

BAWA M. L., DJANEYE-BOUNDJOU G., BOUKARY Y. 2005. Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d'impact sur l'environnement. *Afrique Science*, 02 : 57 - 68.

BEJDA A.J., PHELAN B.A., STUDHOLME A.L. 1992. The effect of dissolved oxygen on the growth of young-of-the-year winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*. *Environ. Biol. Fishes* 34(3) : 321-321. Doi : 10. L007IBF00004780

BELGHYTI D., GUAMRI Y., ZTIT G., OUAHIDI M.L., JOTI M.B., HARCHRASS A., AMGHAR H., BOUCHOUATA O., EL KHARRIM K., BOUNOUIRA H. 2009. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. *Afrique Science*, 05 : 199 – 216.

CADOTTE M. W., CARSCADDEN K., MIROTCNICK N. 2011. Beyond species : functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of applied ecology*, 48, 1079-1087.

CAGNOLO L., VALLADARES G., SALVO A., CABIDO, M., ZAK M. 2009. Habitat Fragmentation and Species Loss across Three Interacting Trophic Levels : Effects of Life History and Food Web Traits. *Conserv. Biol.*23(5) : 1167-1175. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01214.x>.

Clergeau P. 2019. La biodiversité dans les stratégies d'aménagement urbain. *Métropolitiques.eu*, 2019. <https://hal-mnhn.archives-ouvertes.fr/mnhn-02568449>. P6.

CHOUTI W. K. 2011. Étude de la pollution chimique d'une Lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) ; cas de la Lagune de Porto-Novo (sud-Bénin). Thèse de doctorat. 100 p.

DAUFRESNE M., LENGFELLNER K., SOMMER U. 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 106(31) : 12788-12793. Doi :0.1073/pnas.09020801.06.

DEDJIHO C. A, MAMA D., DIMON B.F., CHOUTI W., ALASSANE A., FIOGBE E.D., SOHOUNHLOUE CKD. 2013. Influence de l'état d'eutrophisation de la lagune de Gbèzoumè (Ouidah) sur sa faune aquatique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 : 2069-2077.

DEDJIHO C. A. 2011. Évaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah. Mémoire de DEA à la FAST/UAC, Bénin. 80 p.

DIAZ S., LAVOREL S., DE BELLO F., QUÉTIER F., GRIGULIS K., ROBSON T. M. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 20684-20689.

DEVICTOR V., MOUILLOT D., MEYNARD C., JIGUET F., THUILLER W., MOUQUET N. 2010. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecology letters*, 13, 1030–1040.

DOVONOU F., AINA M., BOUKARI M., A ALASSANE. 2011. Pollution physicochimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques

: cas du Lac Nokoué au Sud Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 5(4) : 1590-1602, 2011. 17p.

ELEGBEDE B. M., SOHOUNNON M., DOVONOU F., KOUMOLOU L., EDORH A. P. 2020. Évaluation des risques d'intoxication alimentaire liés à la consommation des produits halieutiques du lac Nokoué, Bénin, Afrique de l'Ouest. Afrique Science 16(5) (2020) 292 – 302. <http://www.afriquescience.net>.

ERROCHDI S., EL ALAMI M., BENNAS N., BELQAT B., ATER M., FDIL F. 2012. Étude de la qualité physicochimique et microbiologique de deux réseaux hydrographiques nord marocains : Laou et Tahaddart. Méditerranée, 118 : 41-51. URL : <http://mediterranee.revues.org/6221>

FERRARI M.C.O., LYSAK K.R., CHIVERS D.P. 2010. Turbidity as an ecological constraint on learned predator recognition and generalization in a prey fish. Anim. Behav. 79(2) : 515-519. Doi : 10.1016/j.anbehav. 2009.12.006.

GNOHOSSOU M. P. 2006. La faune benthique d'une Lagune Ouest Africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse de doctorat. 169 p.

GOLD C. 2002. Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphytiques des cours d'eau. Approches expérimentales in situ et en laboratoire. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, p. 175.

GOHOUROU F. Quonan C. Y. K. Émile A. A. 2021. Activités humaines et dégradation des eaux en milieu littoral : cas de la ville de San-pédro (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). HAL Id:hal-03186708 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03186708> Submitted on 31 Mar 2021

HACÈNE T. 2007. Analyse de la diversité biologique des poissons démersaux du nord du golfe du saint-laurent. Université du Québec à Rimouski. Mémoire de master. 87p.

HOUNKPE J. B., KELOME N. C., LAWANI R. A. N., ADECHINA A.R.M.A. 2017. État des lieux de la pollution des écosystèmes aquatiques au Bénin (Afrique de l'ouest). Status of aquatic ecosystem pollution in Benin (west africa). Larhyss Journal, ISSN 11123680, n°30, Juin 2017, pp. 149-17

HOUSSOU. 2012. Variabilité saisonnière des communautés planctoniques (Phyto et zooplancton) des Lacs Azili, Hlan et Toho. Mémoire de Master EPAC/UAC 114 p.

IBGE, 2005. Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles" ; Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement ; De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Fiche, 2, 158-162.

JEPPESEN E., MEERHOFF M., HOLMGREN K., GONZALEZ-BERGONZONI 1., TEIXEIRA-DE MELLO F., DEC1ERCK S.A.J., DE MEESTER L., SEMDERGAARD M., LAURIDSEN T.L., BJERRING R., CONDE-PORCUNA J.M., MAZZEO N., IGLESIAS C., REIZENSTEIN M., MALMQUIST, H.J., LIU, Z., BALAYLA, D., AND LAZZARO X. 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646(1) : 73-90. Doi :10.1007/s10750-010-0171-5.

KACI M., MOALI S. 2019. Suivi de la qualité hydrochimique des eaux brutes du barrage Taksebt en surface et en profondeur et des affluents de l'Oued Aissi Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri.

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 Écosystèmes et protection de l'environnement. 53p

KEDDAL H., N'DRI JY. 2008. Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. *Revue HTE* N°138, Sept-Déce. 2007.

KHETTAF S. 2018. Evaluation physico-chimique de l'eau d'un barrage et proposition d'un traitement adapté pour une eau de haute qualité Doctoral dissertation, Université Batna 1.

KRAMER D.L. 1987. Dissolved oxygen and fish behavior. *Environ. Biol. Fishes* 18(2) : 81-92. Doi :10.1007/BF00002597.

LAMIZANA-DIALLO M. B., KENFACH S., MILLOGO-RASOLODIMBY J. 2008. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso - Le cas de Massili dans le Kadiogo. *Sud Sci. Techno.* (16) : 23-28.

LALEYE P., NIYONKURU C., MOREAU J., G. G. TEUGELS. 2003. Spatial and seasonal distribution of the ichthyofauna of Lake Nokoué, Benin, West Africa. *African Journal of Aquatic Sciences* 28 (2) : 151-161.

LAWANI R. 2013. Évaluation des éléments traces métalliques et spéciation chimique du cuivre et du zinc dans les eaux et sédiments du Lac Nokoué. Mémoire de Master UAC-FAST. 57 p.

LÉVÊQUE C., PAUGY D., TEUGELS G. G. (EDS.) 1990. Faune des poissons d'eau douce et saumâtre de l'Afrique de l'Ouest. Éditions ORSTOM, Paris, France, 910 p.

LEVEQUE C., OBERDORFF T., PAUGY D., STIASSNY, M. L. J. TEDESCO, P.A. 2007. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 545–567

LYNCH A.J., MYERS B.J.E., CHU C., EBY L.A., FALKE J.A., KOVACH R.P., KRABBENHOFT T.J., KWAK T.J., LYONS L., PAUKERT C.P., WHITNEY L.E. 2016. Climate change effects on North American inland fish populations and assemblages. *Fisheries* 41(7) : 346-361. Doi : 10.1080/03632415.2016.1186016

MAMA D. 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du Lac Nokoué (Bénin). Thèse de doctorat. 177p.

MAMA D., DELUCHAT V., BOWEN J., CHOUTI W., YAO B., GNON B., BAUDU, M. 2011. Caractérisation d'un Système Lagunaire en Zone Tropicale : Cas du lac Nokoué (Bénin). *European Journal of Scientific Research*, 56(4), pp.516-528.

MARSELLI G. 2020. Réponses des espèces de poissons à des facteurs de stress environnementaux dans la région. Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise en sciences de l'environnement. Université du Québec à Trois-Rivières des grands lacs de l'Ontario. 41p.

MC KINNEY ML. 2002. Urbanization, biodiversity and conservation. *Biosci.*, 52 : 883-890.
Moudallal S. 1997. Les Ressources Hydrauliques au Liban (1re édn). Dar el Fekr el Arabi : Beyrouth, Liban.

MEGNON G. T., SOUMANOU M. M., TOSSOU S & G. A. MENSAH., 2011. Evaluation de la qualité sanitaire des crevettes (*Penaeus* sp) du Lac Nokoué au Sud-Bénin : Aspects chimiques et microbiologiques. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*. 24-30. 7 p.

MORGAN LJ., MCDONALD D.G., WOOD C.M. 2001. The cost of living for freshwater fish in a warmer, more polluted world. *Glob. Change Biol.* 7(4) : 345-355. Doi : 10.1046/j.1365-2486.2001.00424.x.

NIYONKURU C. 2001. Etude des variations spatio-temporelles de la faune ichthyologique du Lac Nokoué en république du Bénin. 128p.

NIYONKURU C. LALEYE P. 2010. Impact of acadja fisheries on fish assemblages in Lake Nokoué, Benin, West Africa. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 15 p.

OBERDORFF T., HUGUENY B., GUEGAN J.F. 1997. Is there an influence of historical events on contemporary fish species richness in rivers ? Comparisons between Western Europe and North America. Journal of biogeography, 24, 461-467.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS). 2007. Preventing disease through healthy environments. Exposure to mercury: a major public health concern. <http://www.who.int/ipcs/features/mercury.pdf>

OVASKAINEN O., TIKHONOV G., NORBERG A., GUILLAUME BLANCHET F., DUAN L., DUNSON D., ROSLIN T., AND ABREGO N. 2017. How to make more out of community data ? A conceptual framework and its implementation as models and software. Ecol. Lett. 20(5) : 561-576. Doi : 10.1111/ele.1275.

PARE S., BONZI-COULIBALY L. Y. 2013. Water quality issues in West and Central Africa : present status and future challenges. IAHS Publ., 361 : 87-95.

POMALEGNI Y. W. 2018. Variations spatio-temporelles de la salinité et de la stratification verticale dans le Lac Nokoué et le chenal de Cotonou (bénin). Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-Chaire UNESCO), Master Recherche en Océanographie et Applications.

PLUS M., LA JEUNESSE I., BOURAOU F., ZALDIVAR J-M., CHAPELLE A., LAZURE P. 2006. Modelling water discharges and nitrogen inputs into a Mediterranean lagoon Impact on the primary production. *Ecol. Model.*, **193** : 69-89. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.037>.

RACHID A. 2010. Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins. Exemple de la Manche-mer du nord. VertigO - la Revue Électronique en sciences de l'environnement. <http://vertigo.revues.org/10129>.

RODIER, LEGUBE, MERLET N. 2009. L'analyse de l'eau. 9eme édition entièrement mise à jour. Dunod paris, 1526p.

RYDING S.O., RAST W. 1994. Contrôle de l'Eutrophisation des Lacs et des Réservoirs. Collection des Sciences de l'Environnement n°9. Masson éditeur : Paris ; 294 p

SOCLO H. 1999. Inventaire et classification des sources majeures de pollution au Bénin Version préliminaire, ABE, p. 64. Sracek PBO, Eldvall B, Asklund R, Barmen G, Koku GJJ, Gustafsson J-E, Balfors NSBB. 2012. Hydrogeochemical study on the contamination of water resources in a part of Tarkwa mining area, Western Ghana. Journal of African Earth Sciences, 66– 67 : 72–84.

SRIVASTAVA D.S., CADOTTE M. W., MACDONALD A. A. M., MARUSHIA R. G., ET MIROTNICK N. 2012. Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. Ecology Letters, 15, 637-648.

TOSSOU Y. Y. J., 2000. Evaluation des nuisances causées par la prolifération de la Jacinthe d'eau (*Echornia crassipes*) (Mart) ; Solms-Lawbech sur le Lac Nokoué et la Lagune de PortoNovo et la pollution par le dépôt de déchets urbains sur le chenal de Cotonou (République du Bénin). Nokoué. Mémoire de licence UAC-EPAC. 61 p.

TRAORE A., SORO G., AHOUSI K.E., BAMBA B.S., SORO N., BIEMI J. 2014. Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud Est de la Côte d'Ivoire). Afrique Science 10(3) :73-88.

VINAWAMON G. C. 2010. Impact du chenal de Cotonou sur les ressources halieutiques du Lac Nokoué. Quelles solutions pour un bon fonctionnement de l'équilibre de l'écosystème ? Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS). FAST/UAC. 65 p.

VIOLLE C., NAVAS M. L., VILE D., KAZAKOU E., FORTUNEL C., HUMMEL I., GARNIER E. 2007. Let the concept of trait be functional ! Oikos, 116, 882-892.

VIOLLE C., REICH P. B., PACALA S. W., ENQUIST B. J., KATTGE J. 2014. The emergence and promise of functional biogeography. Proceedings of the National Academy of Sciences, 11113690-13696.

VISSIN E. W., SINTONDI L. & C. HOUSSOU., 2010. Etude de la pollution des eaux et de la contamination du *Tilapia guineensis* du canal de Cotonou par le plomb. RGLL, N°08 déc. 215- 229. 15p.

VODOUGNON M.H.B. 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.

VOEGBORIO R.B, MATSUYAMA A., ADIMADO A.A., AKAGI H. 2011. Determination of methylmercury in marine and freshwater fish in Ghana using a combined technique of dithizone extraction and gas-liquid chromatography with electron capture detection. Food Chem., 124(3) : 1244–1248.

WEIHER E., FREUND D., BUNTON T., STEFANSKI A., LEE T., BENTIVENGA S. 2011. Advances, challenges and a developing synthesis of ecological community assembly theory. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 366, 2403–13.

YACOUBOU R. H. 2005. Contribution à l'évaluation écologique des zones humides du site RAMSAR 1018 au sud-Bénin : cas de la Lagune de Porto-Novo. 105 p.

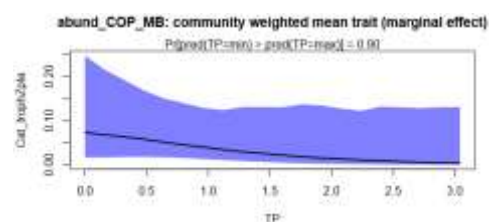
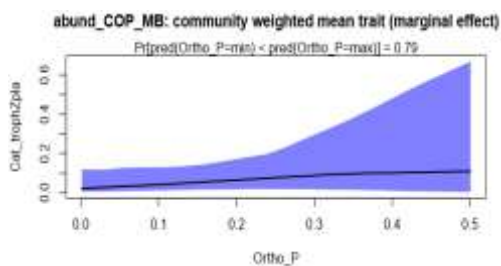
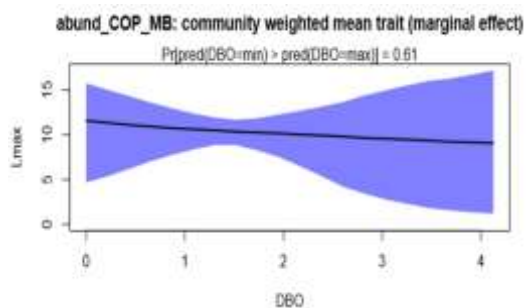
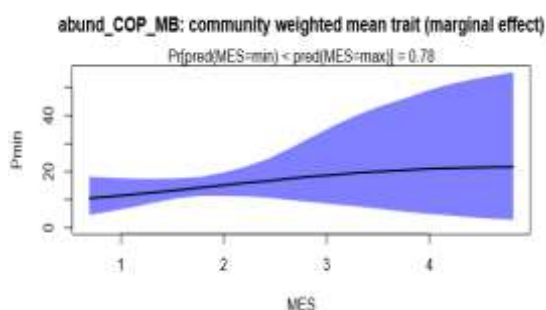
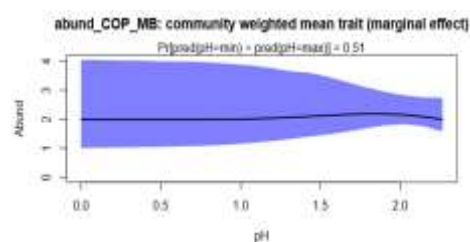
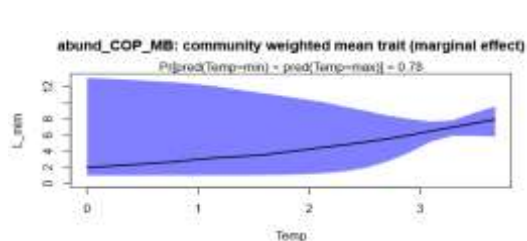
YOUSAO A., SOCLO H., BONOU C., VIANOU K, GBAGUIDI M & L DOVONON. 2011. Evaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué – chenal de Cotonou par le plomb : cas des espèces *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin). International Journal of Biological and Chemical Science, 5(2) : 595-602. 8 p.

ZAIMECHE S. 2014. Contribution à l'étude de l'action d'agents polluants sur des végétaux bio indicateurs. Thèse de doctorat Université frères Mentouri Constantine.16pp.

ZANDAGBA J., ADANDEDJI F.M., MAMA D., CHABI A. AFOUDA A. 2016. Assessment of the Physico Chemical Pollution of a Water Body in a Perspective of Integrated Water Resource Management : Case Study of Nokoué Lake. Journal of Environmental Protection, 7, 656-669. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.75059>

ANNEXES

Sites	Noms des sites de prélèvements	Coordonnées géographiques N / E (UTM)
St1	L'embarcadère d'Abomey-Calavi	X : 429853 Y : 712966
St2	Zogbo	X : 433201 Y : 708287
St3	Chenal	X : 437740 Y : 705418
St4	Centre du lac	X : 435603 Y : 710394
St5	Vêki	X : 436081 Y : 716776
St6	Sô Zounko	X : 435560 Y : 714320
St7	So Tchanhoué	X : 434018 Y : 714488
St8	Ganvié	X : 432982 Y : 714248



INFLUENCE DES ACTIVITES ANTHROPIQUES SUR LA DIVERSITE FONCTIONNELLE DES POISSONS DU

LAC NOKOUE

Site	T°C	pH	Oxy.dis (mg/L)	CE (µS/cm)	TDS (g/L)	Sal (psu)	Tur (NTU)	Sat (%)	Prof (m)	MES (mg/L)	M_S (mg/L)	NO ₃ ⁻	DBO ₅	Orth-P	P_T
Emb	28,04	7,79	4,37	32,29	21,05	21,05	56,50	43,71	0,41	28,54	30,05	28,11	26,91	23,55	28,18
Zog	28,46	7,92	3,73	39,42	27,87	25,27	250	58,40	1,34	72,58	81,52	74,31	61,32	61,91	74,02
Ché	28,38	8,15	3,55	55,49	36,21	36,44	5,50	64,30	1,75	28,84	27,37	26,38	29,56	22,61	26,79
C_Lac	28,93	8,29	4,67	32,95	36,01	20,91	14,75	70,20	1,37	28,65	27,18	27,58	31,17	23,36	27,76
Vêk	29,48	7,91	3,05	36,75	235,84	10,81	20,50	23,80	1,05	58,40	22,91	26,66	26,30	26,8	31,95
Soj	29,41	7,99	4,31	27,10	17,76	12,78	7,50	58,87	1,56	19,69	20,08	20,93	24,42	17,53	20,73
Sot	29,61	7,94	3,52	23,33	185,78	14,16	17,75	56,95	1,00	55,13	29	32,48	34,81	30,38	36,26
Gan	30,03	7,72	2,42	14,88	927,79	11,72	9,00	39,70	1,18	197,88	51,90	69,87	70,12	76,2	91,20

Emb : Embarcadère ; Zog : Zogbo ; Che : Chenal ; C_Lac : Centre du lac ; Vêk : Vêki ; Soj : Sojounko ; Sot : So Tchanhoué ; Gan : Gan

