

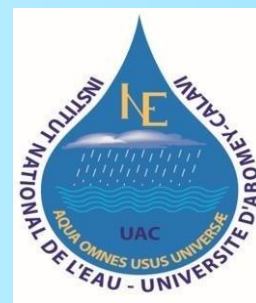


UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=====

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=====



DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

TASSOU Fassala

Pour l'obtention du diplôme de

Master Professionnel en Hydrologie

OPTION : ECOHYDROLOGIE

Evaluation de la pollution en éléments traces métalliques, pesticides et hydrocarbures des matrices eau et sédiments du lac Nokoué

Maître de stage :

Dr. Thierry H. AGBLONON

Superviseur :

Prof. Waris Kéwouyèmi
CHOUTI

Membres du jury :

Président du jury : Professeur DOVONOU Edia Flavien

Rapporteur du jury : Professeur CHOUTI Waris Kéwouyèmi

Examineur du jury : Docteur AGBLONON H. Thierry

Examineur du jury : Docteur ADANDEDJI Firmin

Promotion 2022-2024

CERTIFICATION

Je soussigné, Professeur Waris Kéwouyèmi CHOUTI, Enseignant-Chercheur en Chimie, Professeur Titulaire des Universités du CAMES, certifie que ce travail a été réalisé sous ma supervision par l'Etudiante Fassala TASSOU pour l'obtention du Diplôme de Master Professionnel en Ecohydrologie à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi.

**Superviseur,
Waris Kéwouyèmi CHOUTI
Professeur Titulaire des Universités du (CAMES)
Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (FAST/UAC)**

DEDICACE :

A mes parents pour l'affection dont j'ai bénéficié

REMERCIEMENTS :

Le présent travail de recherche ne pourrait être réalisé sans la contribution et la disponibilité 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 ces personnes physiques ou morales qui m'ont apporté d'une manière ou d'une autre leur soutien et assistance dans le cadre de la réalisation de ce travail. Cependant, je voudrais qu'elles sachent que j'éprouve une sincère gratitude pour chacune d'elles. Je remercie en premier lieu mon Dieu pour son Amour, sa protection et son assistance tout au long de ce travail. Je tiens à remercier particulièrement :

- ✓ Au Professeur **Daouda MAMA**, Directeur de l'Institut National de l'Eau ;
- ✓ Au Docteur **Flavien E. DOVONOU**, Chef du Département Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'Institut National de l'Eau ;
- ✓ Professeur **Waris Kéwouyèmi CHOUTI**, mon superviseur de mémoire, qui a accepté encadrer mes travaux de recherches. Je le remercie pour avoir répondu à toutes mes sollicitations ;
- ✓ Docteur **Armel U.M. GOUGBEDJI**, Docteur **Thierry H. AGBLONON** qui ont suivi mes travaux de bout en bout en tant que Maîtres de stage, qui ont contribué à la rédaction de ce mémoire en me donnant des conseils et orientations essentiels dont j'avais besoin ;
- ✓ Docteur **Arnaud Y. ZANNOU**, qui a toujours été là pour moi par ses conseils, orientations et recommandations ;
- ✓ Professeur **Ernest AMOUSSOU** pour ses conseils, orientations et recommandations ;
- ✓ Mes travaux de recherches ont été financés par le Projet : "Réinventer la cité Lacustre de Ganvié" exécuté par l'ANTP. J'adresse mes sincères remerciements aux responsables de ce projet à divers niveaux ;
- ✓ Une grande partie de mes travaux a été réalisée dans le laboratoire de l'ONG AQUAGENIUS que je tiens sincèrement à remercier les membres de cet ONG ;
- ✓ Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les membres du **cabinet ProAgro** pour leur accueil et affections dont j'ai bénéficié depuis le début de mon stage jusqu'à ce jour ;
- ✓ Monsieur **Schadrac BAGLO** chercheur à **AQUAGENIUS** pour sa disponibilité et ses conseils. Que Dieu le bénisse et l'accompagne dans la suite de ses recherches et projets.

- ✓ Au Docteur **Abdoukarim ALASSANE**, Coordonnateur des masters en Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'Institut National de l'Eau ;
- ✓ Au Docteur **Arouna YESSOUFOU**, le coordonnateur de master Ecohydrologie ;
- ✓ Au personnel administratif de l'Institut National de l'Eau ;
- ✓ A tous les enseignants de l'Institut National de l'Eau, en particulier ceux qui interviennent dans notre formation, pour la qualité des enseignements donnés
- ✓ Mon grand frère Docteur **Mounirou YOLOU** pour m'avoir orienté vers cette formation et pour son soutien quotidien ;
- ✓ Tous mes frères, sœurs et parents, 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 la promotion 2022- 2024 de Master Professionnel en Hydrologie (MPH) de l'Institut Nationale de L'Eau (INE) et particulièrement à mes camarades de l'Ecohydrologie pour leurs solidarités, recevez toutes mes amitiés. Vous avez été des amis irremplaçables durant ces années passées ensemble ;

A tous, je dis un seul mot en espérant qu'il soit plus significatif que toutes mes phrases :

MERCI !

SIGLES ET ABREVIATIONS

ETM : Eléments traces métalliques

HAPs : Hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux

PCBs : polychlorobiphényles totaux

HPT : Hydrocarbures pétroliers totaux

GC-MS : chromatographie en phase gazeuse couplé d'un spectromètre de masse

GC-FID : chromatographie en phase gazeuse couplé à un détecteur à ionisation de flamme

TPH : Total des hydrocarbures pétroliers

ANTP : Agence Nationale pour la promotion des Patrimoines et de développement du Tourisme du Bénin

GPS : Global Positionning System

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

TDS : Total des Solides Dissous

ORP : Potentiel d'oxydo redox

EQ-Eau : Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux

Résumé :

La contamination des écosystèmes aquatiques par les éléments traces métalliques, les pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles est un problème complexe qui nécessite une attention particulière. Le lac Nokoué, la plus grande source des produits halieutiques du Sud Bénin, est malheureusement menacé par une pollution chimique avancée. Dans le but de vérifier l'étendu de la contamination de cet écosystème aquatique en termes de pollution chimique et d'assurer la durabilité de ses ressources aquatiques, une étude a été réalisée. L'objectif de notre étude est d'évaluer le niveau de contamination des matrice eau-sédiment du lac par les éléments traces métalliques, les pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles. Au total, dix (10) stations d'études ont été choisies sur le plan d'eau. Le prélèvement d'eau et de sédiment a été réalisé en Août 2024. Les paramètres physico-chimiques de l'eau ont été mesurés par un multi-paramètre de type WTW in-situ, la mesure des ETM a été réalisée au spectrophotomètre d'absorption atomique et celle des pesticides, hydrocarbure et polychlorobiphényles à la Chromatographie en phase gazeuse. Les logiciels R, Excel ont été également utilisés pour le traitement des données, et ArcMap et Qgis pour la réalisation des différentes cartes. Les valeurs des teneurs moyennes des ETM obtenues dans l'eau sont 0,004 mg/L, 1,36 mg/L, 0,167 mg/L, 0,001 mg/L, 0,002 mg/L, 0,001 mg/L respectivement pour plomb, cuivre, cadmium, arsenic, zinc et mercure. Toutes ces teneurs sont en dessous de la norme sauf celle de cadmium. Les valeurs moyennes des teneurs des pesticides et hydrocarbures totaux obtenues dans l'eau sont toutes supérieures à la norme et sont 0,08 mg/L ; 2,47 mg/L ; 0,66 mg/L, 1,96 mg/L ; 0,06 mg/L et 0,07 mg/L respectivement pour glyphosate, atrazine, flubendiamide, spirotétramate, hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux (HAPs) et hydrocarbures pétroliers totaux (HPT). Par contre, les teneurs obtenues dans les sédiments pour les trois types de polluants sont inférieures à la norme et sont 0,298 mg/kg ; 0,006 mg/kg ; 2,41 mg/kg ; 0,010 mg/kg ; 0,133 mg/kg ; 5,90 mg/kg ; 0,46 mg/kg ; 0,56 mg/kg ; 0,144 mg/kg et 0,156 mg/kg respectivement pour cadmium, plomb, cuivre, mercure, glyphosate, atrazine, flubendiamide, spirotétramate, HAPs et HPT. De plus, les polychlorobiphényles (PCB) sont quasiment inexistantes dans les eaux et sédiments. À la lumière des résultats obtenus, ce lac apparaît comme une zone problématique pour la contamination de l'eau par les éléments traces métalliques (ETM), les pesticides, les HAPs et les HPTs.

Mots clés : Lac Nokoué, contamination, ETM, pesticides, hydrocarbures, BCP, eau, sédiment.

Abstract:

Contamination of aquatic ecosystems by trace metal elements, pesticides, hydrocarbons and polychlorinated biphenyls is a complex problem that requires special attention. Lake Nokoué, the largest source of fishery products in southern Benin, is unfortunately threatened by advanced chemical pollution. with the aim of verifying the extent of contamination of this aquatic ecosystem in terms of chemical pollution and ensuring the sustainability of its aquatic resources, a study was carried out. The objective of our study is to evaluate the level of contamination of the water-sediment matrix of the lake by trace metal elements, pesticides, hydrocarbons and polychlorinated biphenyls. In total, ten (10) study stations were chosen on the water body. the water and sediment sampling was carried out in August 2024. the physicochemical parameters of the water were measured by an in-situ WTW type multi-parameter, the measurement of ETM was carried out with an atomic absorption spectrophotometer and that of pesticides, hydrocarbons and polychlorinated biphenyls using phase chromatography. gaseous. tests (Shapiro-Wilk, Levene.test(), ANOVA, One.Way.test() and Kruskal-Wallis) were used for statistical testing. The R and Excel software were also used for data processing and ArcMap and Qgis for the creation of the various maps. the values of the average contents of ETM obtained in water are: 0.004 mg/L, 1.36 mg/L, 0.167 mg/L, 0.001 mg/L, 0.002 mg/L, 0.001 mg/L respectively for lead, copper , cadmium, arsenic, zinc and mercury. All these levels in the water are below the standard except for cadmium. the average values of the concentrations of pesticides and total hydrocarbons obtained in water are all higher than the standard and are: 0.08 mg/L; 2.47 mg/L; 0.66 mg/L, 1.96 mg/L; 0.06 mg/L and 0.07 mg/L respectively for glyphosate, atrazine, flubendiamide, spirotetramat, hydrocarbonstotal polycyclic aromatics (PAHs) and total petroleum hydrocarbons (TPH).on the other hand, the levels obtained in the sediments for the three types of pollutants are lower than the standard and are 0.298 mg/kg; 0.006 mg/kg; 2.408 mg/kg; 0.010 mg/kg; 0.133 mg/kg; 5.899 mg/kg; 0.462 mg/kg; 0.556 mg/kg; 0.144 mg/kg and 0.156 mg/kg respectively for cadmium, leadcopper, mercury, glyphosate, atrazine, flubendiamide, spirotetramat, PAHs and HPT.in addition, polychlorinated biphenyls (PCBs) are almost non-existent in water and sediment. In light of the results obtained, this lake appears to be a problematic area for water contamination by trace metal elements (ETM), pesticides, PAHs and HPTs.

Key words : Lake Nokoué, contamination, ETM, pesticides, hydrocarbons, BCP, water, sediment.

Table des matières	
CERTIFICATION	1
DEDICACES :	2
REMERCIEMENTS :	3
SIGLES ET ABREVIATIONS	5
Résumé :	6
Abstract :	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	13
1. Objectif général :	14
2. Objectifs spécifiques	15
3. Hypothèses	15
Chapitre1 : Généralité	17
1.1. Généralité sur les Eléments traces métalliques et leurs effets sur l'écosystème aquatique	17
1.2. Cas des Eléments traces métalliques dans le cas de cette étude	17
1.2. Généralité sur les Pesticides et leurs effets sur l'écosystème aquatique	20
1.2.2. Cas des Pesticides dans le cas de cette étude	21
1.3. Généralité sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs effets sur l'écosystème aquatique	23
1.4. Les polychlorobiphényles (PCB)	23
CHAPITRE 2 : ZONE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES :	26
2.1. Présentation de la zone d'étude	26
2.1.1. Situation géographique	26
2.1.2. Climat, Hydrographie	27
2.1.2.1 Climat	27
2.1.2.2. Hydrographie	27
2.1.3. Sols et végétations	27
2.1.3. 1.Sols	27
2.1.3.2. Végétations	28
2.1.4. La pêche et l'élevage	29
2.1.4.1. La pêche	29
2.1.4.2. Élevage	29
2.1.5. L'agriculture et la Pisciculture	30
2.1.5.1. Agriculture	30
2.1.5.2. Pisciculture	30
2.1.6. Commerce, Trafic d'hydrocarbure	31
2.1.6.1. Commerce	31
2.1.6.2. Trafic d'hydrocarbure	31
2.2. Matériel	32
2.2.1 Matériel de laboratoire	32

2.2.2. Matériels de laboratoire.....	34
2.3. Méthodes.....	34
2.3.1. Recherche documentaire	34
2.3. 2. Visite du site	34
2.3. 3. Echantillonnages.....	35
2.3.3. 1. Pour l'échantillonnage de l'eau :.....	35
2.3.3. 2. Pour l'échantillonnage des sédiments :.....	36
2.4. Analyses.....	36
2.4.1. Cadre d'analyse :.....	37
2.4.2. Protocoles d'analyse pour les ETM dans les eaux et sédiments :.....	37
2.4.3. Protocole d'analyse pour les pesticides dans les eaux et sédiments :.....	37
2.2.4. Protocole d'analyse pour les hydrocarbures dans les eaux et sédiments.....	38
2.5. Traitement et analyse statistiques des données.....	39
3.1 Résultats	41
3.1.1. Caractérisation physico-chimique du lac Nokoué.....	41
.....	46
3.1.1.1. Température.....	47
3.1.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	47
3.1.1.3. Oxygène dissous.....	47
3.1.1.4. Salinité de l'eau	48
3.1.1.5. Conductivité de l'eau	48
3.1.1.6. Solides Totaux dissous (TDs) de l'eau	49
3.1.1.7. Saturation de l'eau	49
3.1.1.8. Potentiel d'oxydo redox (ORP) de l'eau.....	50
3.1.1.9. Transparence de l'eau	50
3.1.1.10. Profondeur de l'eau	50
3.1.2.2. Distribution spatiale des pesticides dans l'eau et sédiment	55
3.1.2.3. Distribution spatiale des hydrocarbures dans l'eau et sédiment.....	60
3.1.3. Corrélation entre les ETM, pesticides et hydrocarbures dans l'eau et ceux dans sédiment avec les stations	64
3. 2. Discussion	67
Conclusion et suggestions	72
Reference bibliographiques.....	72
ANNEXES :	82

Liste des figures :

Figure 1 : Carte de situation géographique du lac Nokoué.....	26
Figure 2 : Carte de situation géographique du lac Nokoué.....	35
Figure 3 : Distribution temporelle des paramètre physico-chimiques dans l'eau.....	46
Figure 4 : Distribution temporelle des paramètre physico-chimiques dans l'eau.....	50
Figure 5 : Variation spatiale de cadmium dans l'eau (A) et sédiment (B) du Lac Nokoué.....	52
Figure 6 : Estimation de la teneur en cadmium dans l'eau(B) et sédiment(B) sur l'ensemble du lac ..	52
Figure 7 : Variation spatiale de cuivre dans l'eau (A) et sédiment (B) sur le lac Nokoué	53
Figure 8 : Estimation de la teneur en cuivre dans l'eau(B) et sédiment(B) sur l'ensemble du lac.....	53
Figure 9 : Distribution spatiale des teneurs en plomb dans l'eau (A) et dans les sédiments (B) sur les 10 stations	54
Figure 10 : Estimation de la teneur en plomb dans l'eau(B) et sédiment(B) sur l'ensemble du lac.....	54
Figure 11 : Distribution spatiale de glyphosate dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les 10 stations	56
Figure 12 : Estimation de la teneur en glyphosate dans l'eau(B) et sédiment(A) sur l'ensemble du lac	57
Figure 13 : Distribution spatiale de l'atrazine dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations	57
Figure 14 : Estimation de la teneur en atrazine dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac.....	58
Figure 15 : Distribution spatiale du flubendiamide dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.....	58
Figure 16 : Estimation de la teneur en flubendiamide dans l'eau(B) et sédiment (A) sur l'ensemble du lac.....	59
Figure 17 : Distribution spatiale de spirotétramate dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les 10 stations	59
Figure 18 : Estimation de la teneur en spirotérmate dans l'eau (B) et dans sédiment(A) sur l'ensemble du lac.....	60
Figure 19 : Distribution spatiale de la teneur en PAHs dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.....	62
Figure 20 : Estimation de la teneur en HAPs dans l'eau (B) et dans sédiment(A) sur l'ensemble du lac	62
Figure 21: Distribution spatiale des hydrocarbures pétroliers totaux dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.....	63
Figure 22 : Estimation de la teneur en HPT dans l'eau (B) et sédiment (A) sur l'ensemble du lac	64
Figure 23 : Analyse en Composantes Principale des polluant dans l'eau (A) et Caractéristiques des stations(B) en termes de polluants dans l'eau.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 24 : Analyse en Composantes Principale des polluant dans le sédiment (A) et Caractéristiques des stations(B) en termes de polluants dans le sédiment.	65

Listes des photos :

Photo 1 : Vue partielle de la végétation du lac Nokoué Eichhornia crassipes (A et B) Nymphaea lotus (nénuphar)(C) (TASSOU ,2024)	28
Photo 2 : Vue partielle de la pratique de pêche cliché (Fassala, 2024)	29
Photo 3 : Vue partielle des sites piscicoles (TASSOU ,2024).....	30
Photo 4 : Vue partielle du marché d’Embarcadère de Calavi (TASSOU ,2024).....	31
Photo 5 : Point de vente d’essence dans le Nokoué (TASSOU ,2024)	31
Photo 6 : Papier adhésif et marqueur pour étiqueter les échantillons.....	32
Photo 7: Papier adhésif et marqueur pour étiqueter les échantillons	32
Photo 8 : Sachets zipes pour le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des ETM	33
Photo 9: Sachets zipes pou le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des ETM	33
Photo 10 : Bouteilles plastiques pour le prélèvement de l’eau destiné aux analyses des ETM	33
Photo 11 : Bouteilles sombres en verre pour le prélèvement de l’eau destiné aux analyses des pesticides et hydrocarbures	33
Photo 12: Glacière pour la conservation des échantillons	33
Photo 13: échantillonnage de l’eau et sédiment	34
Photo 14 : Benne de Eckman.....	40

Listes des tableaux

Tableau 1 : Résumé des valeurs des paramètres physico-chimiques du point de vue spatiale du lac Nokoué	41
Tableau 2 : Synthèse des résultats de tests de comparaison de Kruskal-Wallis des variations spatiales des paramètres physico-chimiques du Lac Nokoué.....	43
Tableau 3 : Résumé des valeurs des paramètres physico-chimiques du point de vue temporelle du lac Nokoué	43
Tableau 4 : Synthèse des résultats de tests de comparaison de Kruskal-Wallis des variations temporelles des paramètres physico-chimiques du Lac Nokoué.....	45
Tableau 5 : Résumé des Eléments traces métalliques dosés sur le lac Nokoué	51
Tableau 6 : Résumé des pesticides dosés sur le lac Nokoué.....	55
Tableau 7 : Résumé des hydrocarbures dosés sur le lac Nokoué	61

Introduction

Chaque jour, des polluants de diverses natures sont déversés dans l'environnement notamment dans les écosystèmes aquatiques. Parmi ces polluants, figurent les éléments traces métalliques (ETM), les pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles, considérés comme dangereux à cause de leurs effets toxiques, leur persistance et leur capacité à s'accumuler dans les écosystèmes (Harte et al., 1991 ; Schuurmann et Markert, 1998). Dans ces écosystèmes aquatiques, une grande partie de ces composés chimiques est d'origines anthropiques (Veena et al., 1997 ; Sanou et al., 2020) ou naturelles (El Morhit et al., 2013). Le souci lié à la contamination par ces polluants chimiques résulte du fait qu'ils s'accumulent dans les organismes (végétaux ou animaux), les eaux et les sédiments, où ils atteignent parfois des seuils toxiques (Kayalto & Mbofung, 2009 ; Lévêque & Paugy, 1999) . Cependant, l'Afrique apparaît comme le continent le moins concerné par ce type de pollutions en raison de sa faible industrialisation. Mais de nos jours, des informations existent à travers de nombreux pays du continent , faisant cas de ces polluants chimiques, très nombreux, qui s'accumulent dans les sédiments, l'eau ainsi que dans les ressources halieutiques (Chouti, 2011 ; Coulibaly & Ouedraogo 2022 ; Oumar et al., 2014). Cela se justifie par des travaux menés par plusieurs auteurs sur le continent allant dans ce sens (Altındağ & Yiğit, 2005 ; Cherifi & Mekhissi, 2022 ; Coulibaly & Ouedraogo, 2022 ; Dione, 2022 ; El Morhit et al., 2013 ; Kayalto & Mbofung, 2009 ; Ouro-Sama et al., 2014 ; Samia & Emam, 2024 ; Zerrouqi et al., 2013) respectivement au Nigéria, Sénégal, Burkina-Faso, Tchad, Togo, Algérie et Maroc .

Le Bénin, quant à lui, est caractérisé par une séquence continue de lacs et lagunes présentant d'importantes potentialités écologiques, économiques et même culturelles. Ces dernières années, suite à l'accroissement des activités génératrices de revenus (agriculture, industries, artisanats, etc.), les écosystèmes aquatiques béninois ont connu de nombreuses perturbations physiques, chimiques et biologiques (Goussanou et al., 2018). Cette situation a fait planer sur ces écosystèmes un risque de détérioration de la qualité des eaux et de raréfaction des stocks halieutiques (Hounkpe et al., 2017). Or, le lac Nokoué, la plus grande des sources de produits de pêche au Bénin, serait le lac le plus productif de l'Afrique de l'Ouest avec un rendement d'environ une tonne à l'hectare et par an contre une moyenne de 290 kg par hectare et par an pour l'ensemble des lagunes ouest-africaines (Youssao, et al., 2011). Etant le plus important plan d'eau continental du Bénin, sa production halieutique représente entre 65 et 70 % de la production des eaux continentales du Bénin et donc un milieu à fortes potentialités économiques pour la région du Sud-Bénin (Chouti, 2011). Malheureusement, ses ressources sont menacées par la pollution chimique avancée (Bouih et al., 2004). Cette pollution est liée aux transports

des produits pétroliers (Akoègninou et al., 2001), ainsi que l'utilisation des barques motorisées et l'agriculture au niveau des berges du lac (Hoteyi et al., 2014). Ces produits pétroliers contiennent divers polluants à savoir : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pétrogéniques dont les plus dangereux sont le benzo (a) pyrène, le benzo (k) fluoranthène et le benzo (ghi) pérylène (Dovonou et al., 2019 ; Youssao, et al., 2011).

De plus, le fleuve Ouémé qui prend sa source au nord dans les massifs de l'Atacora, traverse tout le pays et se jette dans l'Océan Atlantique en passant par le lac Nokoué via le chenal de Cotonou (Yèhouénou & Pazou, 2005). Dans son parcours, il draine pendant la crue des résidus de pesticides des bassins cotonniers du nord et du centre vers ce cours d'eau (Agbohessi et al., 2012 ; Okoumassoun et al., 2002 ; Tchokponhoue et al., 2013 ; Yèhouénou & Pazou, 2005). A cela, s'ajoutent les déchets ménagers jetés dans le lac par la population lacustre qui génèrent aussi une pollution chimique. Nous avons entre autres les ETM toxiques comme mercure, le plomb et le cuivre issus des piles usagées et autres (Dovonou et al., 2019). C'est pour ces raisons qu'ils ont été étudiés par plusieurs auteurs dans le cadre des recherches sur la qualité des cours d'eau, lagunes et lacs (Manou et al., 2020). Les travaux réalisés par Agbohessi, et al., (2012), Chouti et al., (2017), Lawani et al., (2017), Yehouenou et al., (2013), Yèhouénou et Pazou, (2005) montrent que le lac est contaminé par les pesticides organochlorés, les ETM. De plus, les travaux de Dovonou et al., (2019), Goussanou et al., (2018), Manou et al., (2020) sur ce lac, montrent que les crabes, sédiments, eaux, poissons et crevettes sont contaminés par les ETM (le plomb, cadmuim, et cuivre) et par les HAPs. Enfin, les travaux récents d'Agbohessi et al., (2023) confirment cette pollution chimique mentionnant que le lac Nokoué reçoit plusieurs polluants comme des pesticides (endosulfans, DDT), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (naphtalènes, fluorènes,), et des métaux toxiques (plomb, cadmium, cuivre), les détergents industriels, les polychlorobiphényles, les dioxines et produits dérivés sont également suspectés dans cet écosystème. Cependant, en plus de toutes ces pollutions, le plan d'eau risque encore de connaître plus de pollutions les années à venir, car ce dernier abrite l'un des sites touristiques phares du pays « Ganvié » que l'Agence Nationale pour la promotion des Patrimoines et de développement du Tourisme du Bénin (ANPT) prévoit aménager. Ainsi dans l'objectif de faire du Bénin une des destinations phares en Afrique de l'ouest, l'ANPT a prévu exécuter plusieurs projets parmi lesquels figure celui intitulé « Réinventer la cité lacustre de Ganvié ». Ce projet a pour but de faire de Ganvié un site phare de la promotion d'un tourisme respectueux de l'hydrosystème qui l'entoure, le lac Nokoué. Pour mener à bien ce projet, tout en minimisant les impacts de ce futur projet qui pourrait dégrader la qualité des habitats et occasionner la perte de la biodiversité, l'ANPT a commandité une étude scientifique préalable

pour faire état des lieux et proposer des actions à poser afin que l'implantation du projet n'affecte la biodiversité et la pêche mais bien au contraire de permettre une gestion durable de la biodiversité et de l'activité pêche. C'est donc dans cet ordre d'idée qu'a vu le jour notre thématique qui est intitulé « Contamination aux éléments traces métalliques, pesticides et hydrocarbures de la matrice eau-sédiment du lac Nokoué ». La particularité de notre étude, est le fait que les types de pesticides considérés n'ont jamais fait l'objet d'une étude dans ce lac, elle a su considérer un grand nombre d'hydrocarbures et de polychlorobiphényles en termes de d'hydrocarbures totaux et de PCB totaux. De plus, elle a su différencier les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux des hydrocarbures pétroliers totaux qui n'ont d'ailleurs jamais été dosés dans le sédiment du lac et a su prendre en compte un nombre assez important de sites.

Objectif général

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le niveau de contamination des matrice eau-sédiment du lac Nokoué par les ETM, les pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles.

Objectifs spécifiques

Cette étude vise de façon spécifique à :

- caractériser la qualité physico-chimiques de l'eau du la lac.
- évaluer la distribution spatiale des éléments traces métalliques, les pesticides, les hydrocarbures dans les eaux et sédiments du lac Nokoué.
- analyser la corrélation entre les polluants dans l'eau et sédiment.

Hypothèses

Pour l'atteinte des objectifs de cette étude, les hypothèses suivantes ont été émises.

Hypothèse 1 : Les paramètres physico-chimiques des eaux du lac Nokoué dépassent les normes des eaux de surfaces pour la conservation de la biodiversité.

Hypothèse 2 : Les eaux et sédiments du lac Nokoué sont contaminés par les ETM, les pesticides et les hydrocarbures.

Hypothèse 3 : Il existe une corrélation entre les ETM, les pesticides et les hydrocarbures dans l'eau et ceux dans le sédiment.

C

HAPITRE 1 : GENERALITES

Chapitre 1 : Généralités

1.1. Généralités sur les Eléments traces métalliques et leurs effets sur l'écosystème aquatique

Les éléments traces métalliques sont des éléments chimiques omniprésents sur la surface terrestre à de faibles concentrations $<0,1\%$ (Messahli et al., 2020). Ils peuvent être d'origines naturelles (l'activité volcanique : résultant de l'activité géothermique et du dégazage du magma ; l'altération des continents et les incendies de forêt)(Sabrina, 2017) ou d'origine anthropique(l'utilisation des combustibles fossiles ,l' industrialisation, l'utilisation des engrais chimiques, le transport, l'incinération de déchets. Ils se répartissent dans trois compartiments à savoir : les sols, l'air et l'eau. Ils sont classés en deux catégories à savoir :

- Les éléments traces métalliques essentiels : Ce sont des éléments indispensables, qui à l'état de trace, se trouvent dans les tissus biologiques et dans de plusieurs processus cellulaires. Certaines peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil, c'est le cas du cuivre, du nickel, du zinc, du fer (Olivier, 2001).
- Les éléments traces métalliques toxiques : Ce sont des ETM qui ont des effets toxiques sur les organismes vivants même à faible concentration et qui ne présentent aucune fonction biologique connus pour les organismes vivants. C'est donc des micropolluants qui, quand ils sont rejetés en quantité très faible, engendrent naturellement des nuisances sur le milieu y compris les organismes vivants inclus dans celui-ci. C'est le cas du plomb du mercure , du cadmium et arsenic (Olivier, 2001).

1.2. Cas des Eléments traces métalliques dans le cas de cette étude

➤ L'arsenic

L'arsenic , est un métalloïde naturellement présent dans la partie superficielle de l'écorce terrestre à une concentration moyenne de l'ordre de 2 mg/kg(Kayalto & Mbofung, 2009). Il existe sous les états d'oxydation - III, 0, III et V. Il faut noter que le degré d'oxydation - III de l'arsenic n'existe pas dans l'environnement. À l'état naturel, l'arsenic est un solide sous sa forme élémentaire, mais on le retrouve souvent, seul ou associé à plusieurs autres métaux, dans des composés soufrés. L'arsenic peut se retrouver à l'état gazeux sous forme de trioxyde d'arsenic volatil (As_2O_3), d'arsine (AsH_3) et d'arsines méthylées. En solution, on peut retrouver l'arsenic sous forme d'As (III) et d'As (V) inorganiques, ainsi que sous diverses formes de composés méthylés de l'As (V)(Kayalto & Mbofung, 2009).Sa toxicité est bien connue et dépend de sa nature chimique . L'arsenic inorganique (sous forme pure ou lié à l'oxygène, au chlore ou au

soufre) est beaucoup plus toxique que l'arsenic organique (lié au carbone ou à l'hydrogène). Il affecte les organismes aquatiques, entraînant des troubles de la reproduction et des effets cancérogènes. Dans les sédiments, l'arsenic peut persister et se bioaccumuler dans les organismes, impactant ainsi les chaînes alimentaires (Kayalto & Mbofung, 2009). La consommation des produits halieutiques renfermant de l'arsenic en traine les effets tels que : toxicité aiguë : nausées, vomissements, diarrhées et les effets chroniques : troubles cardiovasculaires, diabète, cancer de la peau, des poumons et de la vessie (Alsac, 2007).

➤ **Le cadmium**

Le cadmium est un élément très toxique qui n'a aucune fonction biologique connue. Relativement rare, on le retrouve dans la croûte terrestre à une concentration moyenne de 0.2mg.kg^{-1} (Kayalto & Mbofung, 2009). Il ne présente généralement que deux états d'oxydation stables : Cadmium (0) (forme métallique du cadmium) Cadmium (II) (forme ionique la plus courante). La forme ionique Cd^{2+} est considérée comme la plus toxique pour les organismes vivants, car elle est la plus biodisponible et peut facilement pénétrer dans les cellules (Sabrina, 2017). Particulièrement, il est hautement toxique même à faibles concentrations car c'est un élément métallique non-biodégradable, cumulatif pouvant altérer divers niveaux trophiques en milieu aquatique (Sabrina, 2017). Il peut causer des dommages aux reins et affecter la croissance des organismes aquatiques. Les sédiments contaminés par le cadmium peuvent libérer ce métal dans l'eau, exacerbant la contamination. Il s'accumule dans les reins et le foie et entraîne une insuffisance rénale chez la population consommatrice des produits contaminés par le cadmium. Les effets comme la fragilisation des os et risque accru de fractures sont notamment observés (Calamari & Naeve, 1994).

➤ **Cuivre**

Le cuivre, un métal de transition, est un élément essentiel pour de nombreux organismes vivants, mais qui peut devenir toxique à forte dose. Le cuivre est naturellement présent dans la croûte terrestre et peut se retrouver dans les milieux aquatiques par érosion des roches et des sols. Il peut se trouver sous différentes formes, le cuivre (Cu^{2+}) étant le plus stable et la forme la plus toxique, biodisponible pour les organismes aquatiques et le cuivre (I). Le cuivre (Cu^{2+}) a tendance à s'adsorber sur les matières en suspension et à s'accumuler dans les sédiments (Messahli et al., 2020). Il peut perturber la photosynthèse des phytoplanctons et affecter les populations de poissons en provoquant des troubles physiologiques et en affectant leur croissance et leur reproduction. Dans les sédiments, des niveaux élevés de cuivre peuvent

nuire à la biodiversité benthique(Messahli et al., 2020).

➤ **Mercure**

Le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution transfrontière(Messahli et al., 2020). Le mercure, en particulier sous sa forme méthylée, est extrêmement toxique pour les organismes aquatiques. Il s'accumule dans les tissus des poissons et autres organismes marins sous forme de méthylmercure, un composé particulièrement nocif, entraînant des perturbations écologiques importantes et affectant les prédateurs au sommet. Sa présence dans les sédiments peut également entraîner une contamination persistante des eaux(Kayalto & Mbofung, 2009). Cette forme méthylée (méthylmercure) dans les poissons, peut être particulièrement dangereux pour les femmes enceintes et les jeunes enfants. Il entraîne des troubles neurologiques, troubles de développement chez l'enfant, troubles rénaux(Calamari & Naeve, 1994).

➤ **Le plomb**

Le plomb est un métal bleuté brillant, très malléable, ductile et très mou. Le plomb est toxique même à faibles concentrations. Il ne réagit ni avec l'eau, ni avec l'oxygène, mais réagit avec l'acide nitrique et se délave au contact de l'air humide. Naturellement, il est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère. Mais la plupart des concentrations de plomb que nous rencontrons dans l'environnement proviennent des activités humaines notamment (le transport routier, les activités minières, industrie chimique etc.)(Kayalto & Mbofung, 2009). Il existe sous les états d'oxydation (0), (+II) et (+IV), mais dans l'environnement, il est principalement sous l'état (+II), qui est le degré le plus stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales. Rarement, il se trouve sous sa forme élémentaire. Il existe sous forme métallique, inorganique et organique. Il prend une forme organique, lorsqu'il se présente sous forme de plomb tétra méthyle et de plomb tétraéthyle et une forme inorganique, lorsqu'il se présente le plus souvent sous forme de sels du plomb. Sa contamination des sédiments peut affecter la faune benthique et se retrouver dans la chaîne alimentaire, impactant ainsi la santé des écosystèmes aquatiques Le plomb s'accumule dans le

corps des organismes aquatique en empoisonnant ces derniers. La présence du plomb dans le milieu aquatique, perturbe le fonctionnement des phytoplanctons qui constituent une source importante d'oxygène et de la nourriture pour certains animaux. Il provoque la toxicité chez les organismes à partir de 0.1mg/L (Gaujous, 2005) et entraîne des effets néfastes sur le développement neurologique, notamment chez l'enfant et des troubles rénaux et cardiovasculaires chez les consommateurs.

➤ **Zinc**

Le zinc est un élément essentiel à faible dose, mais qui à des concentrations élevées devient toxiques (Sabrina, 2017). Il peut exister sous diverses formes dans l'environnement. Notamment le zinc (Zn^{2+}), forme la plus biodisponible et toxique pour les organismes aquatiques. Il forme des Complexes avec des ligands organiques et inorganiques qui sont moins toxiques. Le zinc a tendance à s'adsorber sur les matières en suspension et à s'accumuler dans les sédiments (Sabrina, 2017). Il peut être toxique pour les organismes aquatiques, en particulier pour les poissons et les invertébrés, entraînant des effets tels que la mortalité, la perturbation des processus physiologiques et la diminution de la reproduction. Dans les sédiments, des niveaux élevés de zinc peuvent perturber les communautés benthiques (Alsac, 2007). Les nausées, les vomissements, la perte d'appétit à fortes doses, l'anémie et l'affaiblissement du système immunitaire à long terme sont des effets observés chez les consommateurs des produits contenant du zinc à une concentration élevée (Calamari & Naeve, 1994).

1.2. Généralités sur les Pesticides et leurs effets sur l'écosystème aquatique

Les pesticides sont des substances chimiques minérales ou organiques de synthèses à action biocide. Elles sont destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages aux denrées alimentaires, aux produits agricoles, au bois et aux produits ligneux, ou des aliments pour animaux. (Agbohessi et al., 2012). Ils proviennent principalement de l'agriculture, où leur utilisation intensive entraîne des contaminations des cours d'eau par ruissellement. Ils peuvent se retrouver aussi dans les milieux aquatiques principalement par ruissellement à partir des zones agricoles, dégradant ainsi la qualité des eaux et sédiments de ces derniers (Carole, 2022). Ils peuvent être classés par :

- Type d'usage à savoir :
 - Acaricides : Utilisés contre les acariens,

- Corvicides : Utilisés contre les corbeaux,
 - Herbicides : Utilisés pour contrôler les mauvaises herbes,
 - Insecticides : Destinés à éliminer les insectes nuisibles,
 - Fongicides : Utilisés pour combattre les champignons et les maladies fongiques,
 - Nématicides : Ciblent les nématodes, des vers microscopiques nuisibles,
 - Hélicides : Utilisés contre les gastropodes pulmonés(limaces),
 - Rodenticides : Utilisés pour contrôler les rongeurs,
- Famille chimique :
- Les Organochlorés : Ce sont des composés constitués d'une molécule organique avec l'ajout de chlore. C'est un type d'insecticide qui est souvent persistants dans l'environnement et les plus connus sont (endrine, lindane, chlordane, DDT (dichloro-diphényl-trichloroéthane, etc.),
 - Les Organophosphorés : Ce sont des composés constitués d'une molécule organique à laquelle on a ajouté du phosphore. Il existe de nombreux composés utilisés comme (glyphosate, parathion, malathion, etc.),
 - Les organo-azotés : principalement utilisés comme herbicides (Ex : atrazine, simazine, etc).
 - Les Carbamates : Ce sont des pesticides agricoles dérivés de l'acide carbamique (HO-CO-NH₂, les plus connus sont (carbaryl, carbofuran,).

Les pesticides peuvent s'accumuler dans les sédiments et dans les tissus des organismes aquatiques, ce qui peut avoir des effets à long terme sur les chaînes alimentaires(Simard, 2022). Certains pesticides agissent comme des perturbateurs endocriniens, affectant le système hormonal. Ce qui peut entraîner des problèmes de fertilité, des malformations congénitales et des troubles du développement, en particulier chez les femmes enceintes et les jeunes enfants(Nathanaelle, 2018).

1.2.2. Cas des Pesticides dans le cas de cette étude

➤ Glyphosate

Le glyphosate, est un herbicide systémique à large spectre, principalement utilisé pour éliminer les mauvaises herbes. Il appartient à la famille des composés organophosphoré, plus spécifiquement aux monophosphates, et est connu sous le nom chimique de N-(phosphonométhyl)glycine (Rajab, 2007). Sa structure chimique est représentée par la formule C₃H₈NO₅P, avec une solubilité dans l'eau d'environ 12 g/L à 25 °C et stable à pH 5, 7 et 9, des

demi-vies d'hydrolyse supérieures à 30 jours à ces pH. C'est un herbicide largement utilisé, qui a été associé à une contamination significative des eaux de surface. Lorsqu'il est appliqué, il peut atteindre des concentrations élevées dans les eaux de ruissellement, jusqu'à 10 000 µg/L juste après l'application, et sa présence peut persister dans les sédiments (Rajab, 2007). Des études montrent que le glyphosate peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, notamment des déséquilibres hormonaux et des troubles neurologiques, et est classé comme probablement cancérigène (Rajab, 2007). Sa présence dans les produits halieutiques peut poser des risques pour les populations qui consomment ces produits, bien que les normes de qualité de l'eau visent à limiter ces résidus.

➤ **Atrazine**

L'atrazine, est un herbicide artificiel largement utilisé qui appartient au groupe des triazines. Sa formule brute est $C_8H_{14}ClN_3$ avec une masse moléculaire de 215,683 g/mol et une solubilité dans l'eau d'environ 34,7 mg/L à 25 °C. C'est un herbicide connu pour sa persistance dans l'environnement et son potentiel à contaminer les ressources en eau (Rajab, 2007). Elle peut affecter la qualité des eaux en provoquant des déséquilibres dans les écosystèmes aquatiques, en particulier en perturbant les hormones des espèces aquatiques, ce qui peut avoir des conséquences sur la biodiversité et la santé des populations de poissons (Rajab, 2007).

➤ **Le flubendiamide**

Le flubendiamide, est un insecticide synthétique appartenant à la classe des diamides (Agbohessi et al., 2012a). Sa formule chimique est $C_{23}H_{22}F_7IN_2O_4S$ avec une masse molaire de 687,43 g/mol et une solubilité dans l'eau d'environ 0,00189 g/L à 20 °C. C'est un insecticide qui agit sur les insectes en activant les récepteurs de la ryanodine (Richards et al., 2008). Il présente des risques pour la qualité de l'eau et son utilisation peut entraîner des résidus dans les sédiments aquatiques et affecter les organismes aquatiques, notamment les poissons, qui peuvent accumuler ces substances dans leurs tissus (Rajab, 2007).

➤ **Le spirotétramate**

Le spirotétramate est un insecticide systémique appartenant à la famille des dérivées de l'acide tétramique (Caron et al., 2009). Sa formule brute est $C_{21}H_{27}NO_5$ avec une masse molaire de 373,44 g/mol et solubilité dans l'eau d'environ 0,0246 g/L à 20 °C. C'est un nouveau type d'insecticide, stable et dont l'action est d'inhiber la biosynthèse des lipides chez les insectes.

cibles (Nauen, 2006). Il présente également des risques pour la qualité de l'eau et son utilisation peut entraîner aussi des résidus dans les sédiments aquatiques et affecter les organismes aquatiques, notamment les poissons, qui peuvent accumuler ces substances dans leurs tissus (Rajab, 2007).

1.3. Généralités sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs effets sur l'écosystème aquatique

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une sous-famille des hydrocarbures aromatiques, composés uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils sont caractérisés par la présence de plusieurs cycles benzéniques qui peuvent être fusionnés. Ce qui leur confère des propriétés chimiques spécifiques. Ils proviennent de la combustion de carburants fossiles et d'autres matériaux organiques. Leur hydrophobicité est élevée, ce qui signifie qu'ils ont une faible solubilité dans l'eau, mais un fort potentiel d'adsorption sur des matières organiques (Chouba, 2006). Les HAP sont toxiques, mutagènes et cancérogènes pour les organismes aquatiques. Ils peuvent s'accumuler dans les sédiments et les tissus des poissons et mollusques. La présence de HAP dans les produits de la pêche représente un danger sanitaire pour les consommateurs, en particulier pour les populations vulnérables comme les femmes enceintes et les enfants (Chouba, 2006). Certains HAP sont reconnus pour leur cancérogénicité. C'est pour cette raison qu'ils ont été classés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et d'autres agences comme des polluants prioritaires en raison de leur toxicité et de leur présence dans divers environnements (Dovonou et al., 2019).

1.4. Les polychlorobiphényles (PCB)

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés chimiques organiques synthétiques, également connus sous le nom de diphényles chlorés (Marchand & Abarnou, 1990). Ils constituent une famille de 209 substances dérivées du biphényle, caractérisées par la présence de plusieurs atomes de chlore. Ils ont été synthétisés pour la première fois dans les années 1920 et ont été largement utilisés jusqu'à leur interdiction dans les années 1980 en raison de leur toxicité (Marchand & Abarnou, 1990). Ils étaient principalement employés comme isolants dans les transformateurs et les condensateurs, ainsi que dans divers produits industriels tels que les lubrifiants, les peintures et les adhésifs (Chouba, 2006). Leur utilisation a conduit à une contamination persistante de l'environnement, car ils se dégradent très lentement et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Ils sont très stables thermiquement et chimiquement, ne se décomposant qu'à des températures supérieures à 1 000 °C (Martin et al., 2012). Ils sont

insolubles dans l'eau mais solubles dans la plupart des solvants organiques et les huiles, ce qui facilite leur accumulation dans les tissus vivants et leur persistance dans l'environnement. Leur présence dans les produits de la pêche représente un risque sanitaire pour les consommateurs, en particulier pour les enfants et les femmes enceintes qui peuvent subir des effets néfastes sur le développement neurologique (Dovonou et al., 2019).

CHAPITRE 2 : ZONE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

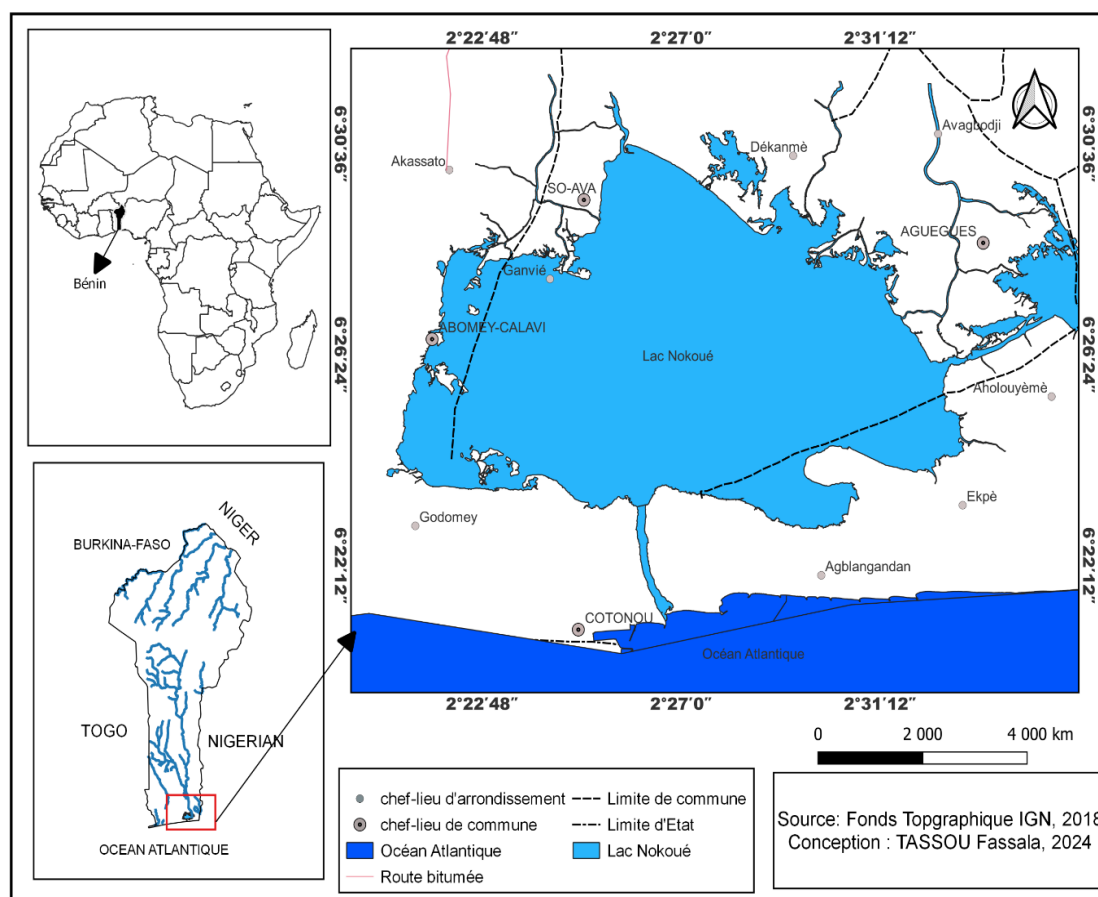
Chapitre 2 : Zone d'étude, Matériel et Méthodes

Ce chapitre présente le matériel et méthodes utilisés pour atteindre les objectifs de cette étude.

2.1. Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

Le lac Nokoué, est situé au Sud -Est du pays, et est compris entre les parallèles 6°20'et 6°30' Nord et les méridiens 2°20' et 2°35'(Dovonou et al., 2019). Etant considéré comme le plus grand lac du Bénin avec une superficie de 150 km² à l'étiage , il s'étend sur les départements de l'Ouémé, de l'Atlantique et du Littoral, et est limité à l'Ouest par le plateau d'Abomey -Calavi, à l'Est par la lagune de Porto- Novo, au Nord par la plaine d'inondation du fleuve Ouémé et de la rivière Sô puis au Sud par la ville de Cotonou (Dovonou et al., 2019). 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, 2012). La figure 1 présente la localisation géographique du lac Nokoué.



2.1.2. Climat, Hydrographie

2.1.2.1 Climat

➤ Précipitations

Le lac Nokoué connaît un climat équatorial avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches par an

- Grande saison sèche de novembre à mi-mars
- Grande saison pluvieuse de mi-mars à août
- Courte saison sèche de mi-juillet à mi-septembre
- Courte saison pluvieuse de mi-septembre à octobre

L'armattan, vent chaud et sec en provenance du Sahara, souffle sur le pays pendant la saison sèche.

➤ Température

La température de l'eau du lac Nokoué varie au cours de la journée et selon les saisons (Vodougnon, 2015).

- En moyenne, la température de surface oscille entre 26°C le matin et 32°C l'après-midi.
- Les températures les plus élevées sont atteintes en saison sèche, de novembre à mars, avec des maximums autour de 32°C.
- En saison des pluies, de mars à octobre, les températures sont plus fraîches, autour de 27-28°C.

2.1.2.2. Hydrographie

Le lac Nokoué est relié directement à l'océan Atlantique par le chenal de Cotonou. Il est alimenté en eau douce par du fleuves Ouémé, de la rivière So ainsi que par les pluies et les eaux ruissellement. Le lac a un fond légèrement ondulé subdivisé en trois bassins, avec des profondeurs comprises entre 0,5 et 1,5 m à l'étiage, pouvant atteindre 3 m dans les cuvettes (Mama, 2010).

2.1.3. Sols et végétations

2.1.3. 1.Sols

Les sols autour du lac Nokoué sont principalement des sols alluviaux et sédimentaires. Résultant de l'accumulation de sédiments apportés par le fleuve Ouémé, la rivière Sô, et par les dépôts organiques provenant de la végétation aquatique. Ces sols sont constitués d'un mélange de sable, de limon et d'argile, ce qui leur confère une texture variée. La matière organique peut représenter jusqu'à 20% des sédiments dans certaines zones, favorisant la fertilité du sol et la biodiversité. Les sédiments sont souvent riches en matière organique, surtout dans les zones où

la végétation est dense. Ils peuvent présenter une variabilité de pH, souvent légèrement acide à neutre, influencés par les apports d'eau douce et les activités humaines. Généralement riches en nutriments, ce qui favorise la croissance de la végétation aquatique et des cultures environnantes. Les apports d'eau douce des fleuves et les variations saisonnières des niveaux d'eau influencent la composition et la structure des sols. Ces sont utilisés pour diverses activités, notamment la pêche, l'agriculture et l'élevage. Les communautés locales exploitent ces ressources pour leur subsistance, ce qui a des implications sur la gestion des sols et de l'eau.

2.1.3.2. Végétations

Le lac Nokoué abrite une grande diversité de végétation aquatique et palustre. 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, *Eichhornia crassipes*, *Crotalaria retusa*, *Penisetum polystachion* et *Pistia stratiotes*. Parmi ces végétaux, le cas d'*Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau) est le plus préoccupant à cause 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.



Photo 1 : Vue partielle de la végétation du lac Nokoué *Eichhornia crassipes* (A et B) *Nymphaea lotus* (nénuphar)(C) (TASSOU ,2024)

2.1.4. La pêche et l'élevage

2.1.4.1. La pêche

La pêche est une activité essentielle pour les populations riveraines, notamment les communautés Toffin et Gun. Elle constitue une source majeure de nourriture et de revenus pour les familles vivant autour du lac. Elle est principalement artisanale et utilise diverses techniques traditionnelles, notamment (Laleye et al., 2004):

- Acadja : Une méthode de pêche qui consiste à créer des enclos en utilisant des nasses et des filets pour capturer les poissons. Cette technique est largement pratiquée par les pêcheurs locaux.
- Filets : Utilisation de filets à épervier, filets maillants et filets traînants pour attraper différentes espèces de poissons.
- Nasses : Emploi de nasses à poissons et à crevettes, ainsi que de palangres pour la capture de crabes.

Ce lac abrite plus d'une trentaine d'espèces de poissons, avec une prédominance des familles comme (, Cichlidés, Clupéidés, Penaeidés). Ces familles représentent environ 85% des prises totales. La période de pêche est particulièrement productive lorsque le niveau de l'eau est bas, généralement entre novembre et juin (Mègnon et al., 2012).



Photo 2 : Vue partielle de la pratique de pêche (TASSOU ,2024)

2.1.4.2. Élevage

L'élevage sur le lac Nokoué, bien qu'il ne soit pas aussi prédominant que la pêche, joue un rôle important dans l'économie locale et la subsistance des communautés riveraines. L'élevage est une activité complémentaire pour de nombreuses familles vivant autour du lac Nokoué. Il contribue à la sécurité alimentaire et à la diversification des sources de revenus, en fournissant de la viande, du lait et d'autres produits d'origine animale (Gnohossou, 2006). L'élevage dans cette région se concentre principalement sur : élevage de volailles (les poules, canards et autres volailles sont couramment élevés pour la consommation locale et la vente sur les marchés),

élevage de petits ruminants (les chèvres et les moutons sont également présents, offrant une source de viande et de lait), élevage de porcs (bien que moins courant, l'élevage porcin est pratiqué par certaines familles) (Gnohossou, 2006).

2.1.5. L'agriculture et la Pisciculture

2.1.5.1. Agriculture

Les pratiques agricoles contribuent aussi à la pollution des eaux du lac 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 (Hounkpè et al., 2017). L'agriculture autour du lac Nokoué est principalement axée sur la culture maraîchère. Les agriculteurs exploitent les terres fertiles et les ressources en eau pour cultiver divers légumes, souvent en utilisant des techniques agroécologiques. Un projet récent a permis de transformer la jacinthe d'eau, une plante invasive, en compost, améliorant ainsi la qualité des sols et la productivité des cultures. Cela inclut des efforts pour certifier les produits agroécologiques, ce qui contribue à sensibiliser les consommateurs à l'importance de consommer local.

2.1.5.2. Pisciculture

La pisciculture sur le lac Nokoué repose sur des méthodes traditionnelles, telles que l'*acadja*, qui consiste à créer des enclos en utilisant des branchages pour élever les poissons (Niyonkuru et al., 2007). Cette technique est particulièrement adaptée à l'écosystème du lac, qui abrite plus de trente espèces de poissons, dont les cichlidés et les clupéidés, représentant la majorité des captures. La production de poisson est estimée à environ 2 tonnes par hectare par an, mais la surpêche et l'augmentation du nombre de pêcheurs ont conduit à une diminution des stocks. La pêche est généralement artisanale, avec des pirogues utilisées pour capturer de petits lots de poissons, ce qui reflète l'importance de la pêche pour la subsistance des communautés locales.



Photo 3 : Vue partielle des sites piscicoles (TASSOU ,2024)

2.1.6. Commerce, Trafic d'hydrocarbure

2.1.6.1. Commerce

Les marchés des villes côtières constituent également des sources importantes de pollution du lac. Le lac Nokoué joue un rôle important dans le commerce des hydrocarbures au Bénin. De nombreux villages lacustres, comme Ganvié, servent de points de vente pour l'essence et le kérosène de contrebande en provenance du Nigéria voisin (Dovonou et al., 2019). Ces produits sont transportés par des pirogues et vendus à des revendeurs qui les distribuent ensuite dans les villes environnantes. Ce commerce informel prospère en raison des différences de prix entre le Bénin et le Nigéria, ainsi que de la facilité de traverser le lac.



Photo 4 : Vue partielle du marché d'Embarcadère de Calavi (TASSOU ,2024)

2.1.6.2. Trafic d'hydrocarbure

Le lac Nokoué est également utilisé pour le trafic d'hydrocarbures. Des réseaux criminels profitent de la facilité de traverser le lac pour acheminer du carburant volé ou de contrebande (Dovonou et al., 2019). Des pirogues chargées de fûts d'essence traversent régulièrement le lac pour atteindre les marchés urbains. Ce trafic alimente un marché noir lucratif et échappe aux taxes et à la réglementation. Il est souvent lié à d'autres activités illégales comme le blanchiment d'argent et la corruption (Dovonou et al., 2019).



Photo 5 : Point de vente d'essence dans le Nokoué (TASSOU ,2024)

2.2. Matériel

2.2.1 Matériel de laboratoire

Cours de cette étude, divers matériels ont été utilisés pour la collecte des données :

- Une barque motorisée a été utilisée pour le déplacement sur le lac ;
- Un navigateur GPS Garmin 72 a été utilisé pour la localisation des stations d'échantillonnage
- Un multi-paramètre de type WTW a été utilisé pour mesurer les paramètres physico-chimiques in situ
- Les bouteilles plastiques neuves ont été utilisées pour le prélèvement de l'eau destinée aux analyses des éléments traces métalliques
- Les bouteilles en verre opaques ont été utilisées pour le prélèvement de l'eau destinée aux analyses des pesticides, hydrocarbures et les polychlorobiphényles
- Les sachets zips ont été utilisés pour le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des ETM
- Les sachets zips plus papier aluminium ont été utilisés pour le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles
- Marqueur, papier adhésif ont été utilisés pour l'étiquetage des échantillons
- Appareil photo a été utilisé pour prendre des photos
- Les glacières contenant de la glace ont permis respectivement de conserver et de stocker l'eau et les sédiments du lac prélevé



Photo 7 : De multi-paramètre de type WTW



Photo 6 : Papier adhésif et marqueur pour étiqueter les échantillons



Photo 8 : Sachets zipes pour le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des ETM



Photo 10 : Bouteilles plastiques pour le prélèvement de l'eau destiné aux analyses des ETM



Photo 9 : Papier aluminium pour le prélèvement des sédiments destinés aux analyses des pesticides et hydrocarbures



Photo 11 : Bouteilles sombres en verre pour le prélèvement de l'eau destiné aux analyses des pesticides et hydrocarbures



Photo 12: Glacière pour la conservation des échantillons



Photo 13: échantillonnage de l'eau et sédiment

2.2.2. Matériels de laboratoire

- Le spectrophotomètre d'absorption atomique a été utilisé pour la mesure des concentrations en ETM ;
- La Chromatographie en phase gazeuse a été utilisée pour la mesure des concentrations en pesticides et en hydrocarbures ;
- La verrerie pour les manipulations ;
- L'eau distillée a été utilisée pour le rinçage de la verrerie et autres ;
- Les Diverses solutions

2.3. Méthodes

La démarche scientifique qui a été adoptée dans le cadre de cette étude est la suivante : recherche documentaire, visite du site, échantillonnage, analyse des échantillons et traitement des données.

2.3.1. Recherche documentaire

Pour l'atteinte des objectifs de cette étude, nous avons fait une recherche documentaire à travers laquelle nous allons effectuer des recherches sur internet (Google scholar), parcourir des documents scientifiques (thèses, mémoires, articles...) qui ont abordé de façon générale la problématique de la contamination des matrices : Eau-Sédiments par les ETM, les pesticides, les hydrocarbures et les polychlorobiphényles.

2.3. 2. Visite du site

Cette étape avait pour objectif, la connaissance, la maîtrise et la délimitation de la zone d'étude. Ainsi, au cours de de cette visite, les 10 points d'échantillonnages préalablement définis à partir

des cartes topographiques, ont été revérifiés afin de pouvoir intégrer leurs coordonnées dans Locus map. Ces points ont été fixés en tenant compte de la densité de population ainsi que les zones où s'exercent diverses activités anthropiques (zones de forte pollution). A l'issue de cette étape, on avait obtenu la carte du milieu mentionnant les stations d'échantillonnages avec leurs coordonnées géographiques qu'on avait utilisé comme guide pour la phase d'échantillonnage.

2.3. 3. Echantillonnages

L'échantillonnage s'est fait sur 10 stations identifiées au cours de la visite du site (photo 10) et cela une fois en Août pour les ETM, pesticides et hydrocarbures et pour les paramètres physico-chimiques pendant 06 mois (de janvier à juin).

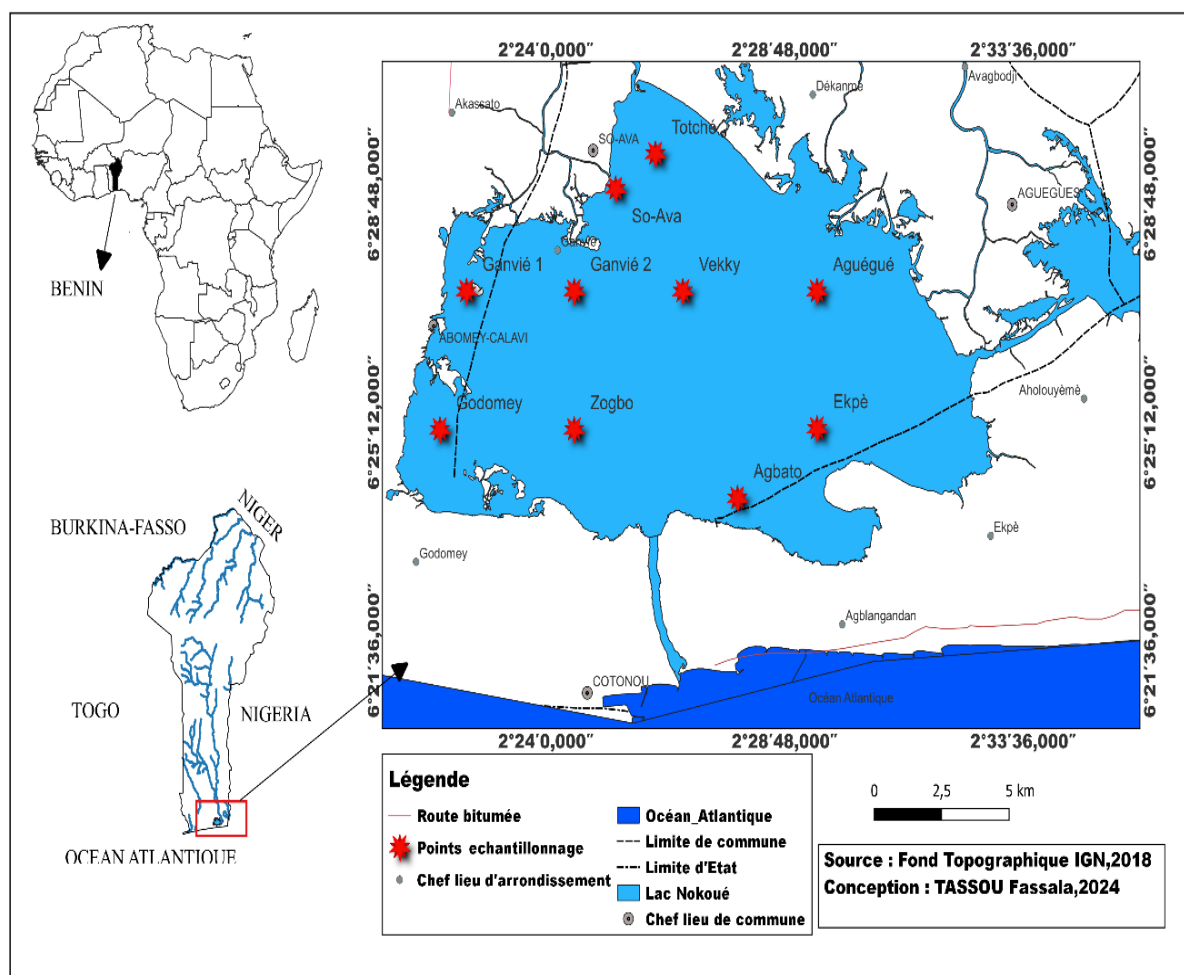


Figure 2 : Carte de situation géographique du lac Nokoué

2.3.3. 1. Pour l'échantillonnage de l'eau :

L'échantillonnage de l'eau du lac s'est fait au niveau des 10 stations d'étude dans les premiers centimètres (5cm).

- ✓ Lors de cet échantillonnage, la mesure des paramètres physico-chimiques à savoir : la température (°C), le PH, l'oxygène dissous (ppm), la salinité (PSU), la conductivité (mS/Cm), TDS (g/L Tds), la saturation (%OD), l'ORP (mv ORP), la transparence (Cm) et la profondeur (Cm),) a été réalisée directement dans l'eau sur les sites.
- ✓ Pour les échantillons d'eau destinés pour le dosage des éléments traces métalliques, l'échantillon était prélevé à l'aide des bouteilles en polyéthylène neuves de 1L préalablement rincé par l'eau distillée et par l'échantillon même trois fois de suite.
- ✓ Pour ceux destinés aux dosages des pesticides et hydrocarbures, compte tenu de la sensibilité des pesticides et hydrocarbures face à la lumière, les échantillons d'eau étaient prélevés dans un contenant en verre opaques de capacité de 1 litre et rincé avec de l'acide sulfurique à 10°C ensuite par l'eau distillée et par l'échantillon même trois fois de suite

Tous ces échantillons étaient étiquetés (nom de la station, date, nom du site et le but) et placées dans des glacières contenant de la glace et transportées au laboratoire pour les analyses.

2.3.3. 2. Pour l'échantillonnage des sédiments :

- ✓ L'échantillonnage des sédiments du fond lagunaire destinés au dosage des ETM s'est fait au moyen de la benne de Eckman qui est un matériel très adapté pour l'échantillonnage des sédiments des fonds des plans d'eau. Une fois prélevés ces échantillons sont transvasés dans les sachets zips.
- ✓ Pour l'échantillonnage des sédiments destinés au dosage des pesticides et hydrocarbures, pour éviter les réactions photochimiques, des échantillons de sédiment ont été prélevés (Environ 200 g) dans un papier d'aluminium qui protèges les sédiments contre la lumière. Ces échantillons sont conservés à 20 °C jusqu'au moment de l'analyse.



Photo 14 : Benne de Eckman

2.4. Analyses

2.4.1. Cadre d'analyse :

Les analyses de la présente étude s'est déroulée dans le laboratoire QHSE Laboratory Consultancy au Nigéria pour la détermination de la teneur en ETM (As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn), de la teneur en pesticides (Glyphosate, Atrazine, Flubendiamide et Spirotétramate) et de la teneur en Hydrocarbures (Hydrocarbures Totaux, HAP Totaux et PCB Totaux) des échantillons (eaux-sédiments).

2.4.2. Protocoles d'analyse pour les ETM dans les eaux et sédiments :

L'analyse des ETM a été effectuée sur le spectrophotomètre d'émission atomique (MP-AES 4200), Agilent, Californie, États-Unis, couplé à un ordinateur et exploité à l'aide de l'interface logicielle MP-AES suivant le protocole ci-après :

- ✓ Pour chaque échantillon d'eau, 25 mL d'eau a été mesurée et versée dans un bécher en PTFE (polytétrafluoréthylène). Pour les sédiments, 1 g $\pm$ 0,05 g de sédiments séchés à l'air a été peser avec précision, tamisé avec un tamis de 2 mm puis transféré dans une fiole conique de 250 mL.
- ✓ Chaque échantillon a été transféré dans une hotte de laboratoire, 10 mL d'acide nitrique ont été ajoutés au flacon contenant l'échantillon d'eau et 20 mL de mélange de digestion (acide perchlorique 1 :2 :2 : acide nitrique : acide sulfurique au flacon contenant l'échantillon le sédiment.
- ✓ Chaque mélange obtenu pour les échantillons a ensuite été chauffé à environ (15-20min) sur une plaque chauffante jusqu'à ce qu'une fumée blanche soit observée.
- ✓ La digestion a été stoppée, les échantillons ont été laisser refroidies a près 20mil de l'eau distillée ont été complété dans une fiole jaugée de 50mL.
- ✓ Faire bouillir le mélange refroidit précédemment pour mettre le métal en solution, laisser refroidir davantage et filtrer sur papier filtre Wattman 42 dans une fiole jaugée de 50 ml et marquer avec de l'eau distillée.
- ✓ Puis transférer échantillons minéralisés dans des bouteilles en plastique pour une analyse 4200 MP-AES ou AAS afin de déterminer les teneurs de ces ETM.

2.4.3. Protocole d'analyse pour les pesticides dans les eaux et sédiments

Des étalons d'étalonnage de dilution en série en cinq (5) points (0,25, 0,50, 1,00, 2,00, 4,00 ppm) ont été préparés à partir du stock et utilisés pour calibrer le GC-MS.

La détermination des niveaux des pesticides dans l'échantillon a été effectuée à l'aide de GC-MS en faisant fonctionner MSD en surveillance sélective des ions (SIM) et en mode Scan pour garantir une détection de faible niveau des constituants cibles. Un chromatographe en phase gazeuse agilent 7820A couplé à un spectromètre de masse inerte 5975C (avec détecteur triple axe) avec source à impact électronique (Agilent Technologies) a été utilisé. La phase stationnaire de séparation des composés était une colonne capillaire HP-5 recouverte de 5 % de phénylméthylsiloxane (30 m de longueur x 0,32 mm de diamètre x 0,25 µm d'épaisseur de film) (Agilent Technologies). Le gaz vecteur était de l'hélium utilisé à un débit constant de 1,2047 ml/min à une pression nominale initiale de 0,64992 psi et une vitesse moyenne de 40,196 cm/sec. 1 µL des échantillons a été injecté en mode sans division à une température d'injection de 250 °C. Le débit de purge vers l'évent déversé était de 30,0 ml/min à 0,35 min avec un débit total de 31,278 ml/min. Le mode économie de gaz a été désactivé. Le four a été initialement programmé à 60 °C (0,5 min), puis augmenté à 20 °C/min jusqu'à 140 °C (2 min) et 11 °C/min jusqu'à 280 °C (10 min). La durée d'exécution était de 29,227 minutes avec un délai de solvant de 3 minutes. Le spectromètre de masse a fonctionné en mode d'ionisation par impact électronique à 70 eV avec une température de source d'ions de 230 °C, une température quadripolaire de 150 °C et une température de ligne de transfert de 300 °C. L'acquisition des ions s'est faite via le mode scan (balayage de m/z 50 à 500 uma à 2,0 s/taux de balayage) et le mode ionique sélectif (SIM).

Après étalonnage, les échantillons ont été analysés et la concentration correspondante en pesticides a été obtenue.

2.2.4. Protocole d'analyse pour les hydrocarbures dans les eaux et sédiments

L'analyse des HP, des HAP et PCB a faite été à l'aide d'un spectromètre de masse par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS), selon les étapes suivantes :

100 mL d'échantillon d'eau a été prélevée dans un entonnoir de séparation de 250 mL et 10 g $\pm$ 0,05 g d'échantillon de sédiment homogénéisé a été pesés dans une bouteille en téflon de 250 ml. (Ou son ratio équivalent). 20 mL de chlorure de méthylène a été ajouté pour extraction et cela trois fois de suite. Ce mélange a été couvert et agité rigoureusement pendant 1 à 2 minutes et transféré dans un entonnoir de séparation. Ensuite, nous avons laissé la phase organique se séparer de la phase aqueuse pendant au moins 10min puis décanté la couche organique dans un bécher/fiole à fond rond propre. Dans le but de purifier les extraits, la couche organique a été Concentrée à l'aide d'un évaporateur rotatif à environ 1 à 2 mL. Le sulfate de sodium active a été ajouté sur l'extrait concentré contenus dans un ballon à fond rond de 250mL afin d'éliminer

l'eau. Les extraits sont alors transférés dans des colonnes préalablement préparées pour l'analyser à l'aide d'un spectromètre de masse par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS).

2.5. Traitement et analyse statistiques des données

Le test de normalité de Shapiro-Wilk a été utilisé pour voir si les données suivent une distribution normale grâce à la fonction `Shapiro.test()` et `Levene.test()` pour voir si les données sont homogènes. Ainsi le test ANOVA (test paramétrique) a été utilisé pour voir la différence significative entre les différentes données qui suivent une loi normale et qui sont homogènes. Le test de Kruskal-Wallis (test non paramétrique) pour les données homogènes et qui ne suivent pas une loi normale. `One.Way.test()` a été utilisé pour les données qui suivent la loi normale mais qui ne sont homogènes. Les logiciels R et Excel ont été utilisés pour des données de paramètres physico-chimiques,

Pour la distribution spatiale des polluants dans l'eau et dans sédiment, deux méthodes ont été utilisées : la méthode des Systèmes d'Information Géographique (SIG) qui est méthodes cartographique et méthode d'analyse géostatistiques qui est une méthode d'interpolation (Kriging). La méthode cartographique est une méthode qui permet d'intégrer les concentrations des polluants dans les systèmes SIG afin de visualiser et analyser leur distribution spatiale : Dans ce cas, le logiciel Qgis 3.22.2 a été utilisé pour la distribution spatiale des ETM, pesticides et hydrocarbures dans l'eau comme dans sédiment. La méthode « Kriging » appelée Krigeage en français, est une méthode d'interpolation géostatistique qui permet d'estimer la concentration des polluants dans des zones non échantillonnées à partir des données disponibles. Dans ce cas, le logiciel ArcMap 10.8 a été utilisé pour l'estimation de ces différents polluants sur l'ensemble du lac, dans l'eau comme dans sédiment. Cette méthode a été choisie parce qu'elle se distingue des autres par son approche statique et sa capacité à prendre en compte les incertitudes. Et donc elle offre une haute précision.

Pour l'étude de la corrélation entre les polluants dans la matrice (eau-sédiment) d'une part et d'autre part entre les polluants et les stations, le logiciel R a été utilisé pour l'Analyse en Composante Principale (ACP).

CHAPITRE 3 : Résultats et Discussion

3.1 Résultats

3.1.1. Caractérisation physico-chimique du lac Nokoué

Les valeurs moyennes, maximales, minimales et l'écart type des 10 paramètres physico-chimiques : Température (°C), pH, Oxygène dissous (ppm), Salinité (PSU), Conductivité (mS/Cm), TDS (g/L Tds), saturation (%OD), ORP (mv ORP), transparence (Cm) et profondeur (Cm)), mesurés directement sur le terrain ont été résumées dans le tableau 1. Toutes les valeurs des paramètres physico-chimiques sont comparées aux normes SEQ-eau (2003).

Tableau 1 : Résumé des valeurs des paramètres physico-chimiques du point de vue spatiale du lac Nokoué

Stations	Ph	ORP	Saturation	Oxygène	Conductivité	TDS	Salinité	Température	Transparence	Profondeur
Agbato	8±0,4	159,8±78,7	64,6±17,5	4,6±1,4	359,5±800,3	356,5±833,1	17,2±8,9	30±1,6	106,17±23,3	131,83±53
Aguégué	7,9±0,4	232,1±92,5	53,4±19,2	3,8±1,6	1855,5±3100,1	2842,7±3784,5	11,9±7,4	29,9±1,5	60,25±39,1	81,33±47
Ekpè	7,9±0,2	185,9±9,3	64,2±23,4	4,5±1,8	1858,68±2825,9	1010,3±1512,8	10±9,3	29,3±1,6	86,27±55,5	195,1±101,3
Ganvié 1	7,6±0,2	188,6±115,4	33,4±20,4	2,9±1,6	195,9±405,1	192,2±433,5	16,8±5,9	29,3±1,2	75,25±36,6	107,89±28,4
Ganvié 2	7,5±0,2	222,8±91,5	36,1±18,7	2,8±1,4	857,6±1574,7	657±1573,6	15,4±7,5	30±1,5	107,83±27,6	116,98±41,1
Godomey	7,5±0,3	188,4±117,4	43,2±23	3,3±1,7	27,8±9,5	821,7±1972	17,2±6,4	29,7±1,6	87,17±42,4	123,33±46
So-Ava	7,4±0,5	216±116	53,4±21,8	3,8±1,7	1126,7±1888,4	1420,2±2213,2	12,1±7,5	30,2±1,8	100,67±32,9	160±67,5
Totchè	7,6±0,2	209,9±115,8	52,7±15,7	3,9±1,2	2209,3±3976,3	1408,8±2212,2	12,3±7,1	30,8±2,1	82±33,9	98,833±55,5
Vekky	7,7±0,4	131,4±73,9	54,1±22,3	3,9±1,7	1268,8±2794,8	1682,5±2939,4	12,6±8,7	30,5±1,7	120,85±37,9	233,4±140,3
Zogbo	8,2±0,4	165,3±80,1	64±15,4	4,5±1,2	36,1±9,9	19,8±2,3	22,9±6,6	29,9±1,7	133,57±19	159,85±49,7
Normes	6,5-9	300-500mv	50-90%OD	4-8ppm	2,5-35mS/Cm			25-27°C	600-130Cm	
	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Agbato	8,6	245,2	87,2	6,9	1993,0	2057,0	25,4	31,8	145,0	162,0
Aguégué	8,5	392,5	85,7	6,8	7497,0	9637,0	18,5	31,3	134,0	143,0
Ekpè	8,2	302,4	86,1	6,9	6457,0	3573,0	22,3	31,2	192,0	305,0
Ganvié 1	7,8	409,8	71,8	5,5	1022,8	1077,0	22,7	30,3	139,0	144,0
Ganvié 2	7,7	385,8	66,0	5,2	3959,0	3869,0	22,0	30,9	148,0	150,0

Evaluation de la pollution en éléments traces métalliques, pesticides et aux hydrocarbures de des matrices eau et sédiments du lac Nokoué

Godomey	8,0	405,6	80,3	6,0	39,1	4847,0	24,7	31,3	155,0	176,0
So-Ava	7,9	406,7	83,0	6,5	4614,0	4845,0	20,0	31,8	156,0	235,0
Totchè	7,9	398,0	77,9	6,1	9883,5	4944,5	19,3	32,9	127,0	154,0
Vekky	8,1	242,7	83,8	6,6	6958,0	7232,0	22,6	31,9	190,0	443,0
Zogbo	8,7	250,7	90,9	6,9	45,5	22,8	29,3	31,4	161,0	191,1
	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Agbato	7,5	61,3	35,1	2,6	25,3	12,4	1,0	27,2	78,0	25,0
Aguégué	7,3	105,7	32,4	2,4	19,3	11,4	1,9	27,1	27,0	23,0
Ekpè	7,6	59,1	20,0	1,5	21,1	10,6	0,1	27,1	46,0	23,0
Ganvié 1	7,2	83,8	11,3	1,2	23,9	12,0	6,2	26,9	33,0	63,3
Ganvié 2	7,3	130,6	21,7	1,6	22,1	11,1	2,1	26,9	86,0	40,0
Godomey	7,1	57,2	9,1	0,7	17,2	11,9	10,0	26,9	38,0	77,0
So-Ava	6,5	55,1	17,0	1,4	20,0	10,0	2,5	27,2	58,0	40,0
Totchè	7,4	57,6	31,4	2,3	23,3	11,8	1,7	27,1	34,0	34,0
Vekky	6,9	59,9	15,7	1,2	14,4	7,2	3,1	27,1	80,0	45,0
Zogbo	7,5	60,4	46,5	3,4	18,7	15,9	11,1	26,8	112,4	60,0

Tableau 2 : Synthèse des résultats de tests de comparaison de Kruskal-Wallis des variations spatiales des paramètres physico-chimiques du Lac Nokoué.

Le tableau 2 présente les résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis et d'Anova des variations spatiales des paramètres physico-chimiques.

Paramètres	Test utilisé	Stations	Significativité
		Pr>F/Pr>X ²	
Température	Kruskal-Wallis	0.5734	NS
pH	Anova	0.00643	**
Salinité	Kruskal-Wallis	0.191	NS
Oxygène	Anova	0.42	NS
Conductivité	Kruskal-Wallis	0.9053	NS
Transparence	Anova	0.0353	*
ORP	Kruskal-Wallis	0.8051	NS
TDS	Kruskal-Wallis	0.9473	NS
Saturation	Anova	8e-09	***
Profondeur	Kruskal-Wallis	0.006764	**

Les niveaux de significativité sont indiqués comme suit : *** (p < 0,001) =très très significatif ; ** (p < 0,01) =très significatif ; * (p < 0,05) =significatif ; et NS= non significatif.

Tableau 3 : Résumé des valeurs des paramètres physico-chimiques du point de vue temporelle du lac Nokoué.

Les valeurs moyennes, maximales, minimales et l'écart type des 10 paramètres physico-chimiques, mesurés sur les six mois ont été résumées dans le tableau 3.

Stations	pH	ORP	Saturation	Oxygène	Conductivité	TDS	Salinité	Température	Transparence	Profondeur
Janvier	7,7±0,7	211,9±58,5	24±11,9	1,8±0,8	1800,4±3157,9	2808,8±3120,7	10,6±7	31,1±0,1	76,5±46	161,2±104,6
Fevrier	7,8±0,3	157,6±36,7	54,8±14,2	3,7±0,9	26,8±7,9	13,4±3,9	16,4±5,3	30,6±0,1	78,4±40	174,6±119,7
Mars	7,9±0,2	88±58,2	46,2±11,4	3,6±0,4	35,1±6,2	17,6±3	22,5±3,3	31,1±0,8	95,4±21,8	162,3±19,6
Avril	7,7±0,3	195,7±55	54,8±18,3	3,6±1,2	34,5±3,7	17,2±1,8	21,6±2,5	30±0,5	87,4±19,4	151,5±34,5
Mai	7,4±0,2	343,4±75	50,5±14,8	3,6±0,8	1416,3±2941	739,9±1532,6	13,9±5,6	30±0,1	89,6±27,6	151±26,5
Juin	7,8±0,2	143,8±45,1	81,3±7,6	6,3±0,6	2564,4±2306	2650±2387,3	4±3,8	27±0,1	148,7±30,4	44,6±18,3
	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Janvier	8,7	277,0	46,5	3,4	9883,5	9637,0	24,8	32,9	151,0	347
Fevrier	8,5	207,7	72,9	4,8	41,3	20,7	26,3	31,9	138,0	443
Mars	8,2	227,2	62,4	4,0	45,5	22,8	29,3	32,6	129,0	192
Avril	8,1	263,1	79,9	5,4	41,2	20,6	26,2	30,9	114,1	202,6
Mai	7,6	409,8	71,2	4,6	7497,0	3721,0	19,9	30,7	119,0	182
Juin	8,1	196,9	90,9	6,9	6958,0	7232,0	11,1	27,2	192,0	77
	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Janvier	6,5	76,5	9,1	0,7	18,9	11,6	2,3	29,9	33,0	34
Fevrier	7,5	103,2	22,8	1,6	14,4	7,2	8,4	29,2	27,0	63
Mars	7,6	55,1	27,3	2,6	22,5	11,4	18,5	29,7	58,5	136,9
Avril	7,3	97,1	23,3	1,6	30,0	15,0	18,5	29,4	58,0	109
Mai	7,2	242,7	25,3	2,1	22,1	11,1	3,9	27,7	41,0	101
Juin	7,4	78,7	66,0	5,2	17,2	18,0	0,1	26,8	88,0	23

Tableau 4 : Synthèse des résultats de tests de comparaison de Kruskal-Wallis des variations temporelles des paramètres physico-chimiques du Lac Nokoué.

Le tableau 4 présente les résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis et d'Anova des variations temporelles des paramètres physico-chimiques.

Paramètres	Test utilisé	MOIS	
		Pr>F/Pr>X ²	Significativité
Température	Kruskal-Wallis	1.026e-06	***
pH	Anova	1.363e ⁻⁰⁵	***
Salinité	Kruskal-Wallis	2.025e-07	***
Oxygène	Anova	4.545e ⁻¹¹	***
Conductivité	Kruskal-Wallis	0.04132	*
Transparence	Anova	0.0005027	***
ORP	Kruskal-Wallis	3.624e-07	***
TDS	Kruskal-Wallis	0.0002497	***
Saturation	Anova	2e ⁻¹⁶	***
Profondeur	Kruskal-Wallis	0.0005369	***

Les niveaux de significativité sont indiqués comme suit : *** (p < 0,001) =très très significatif ; ** (p < 0,01) =très significatif et * (p < 0,05) =significatif.

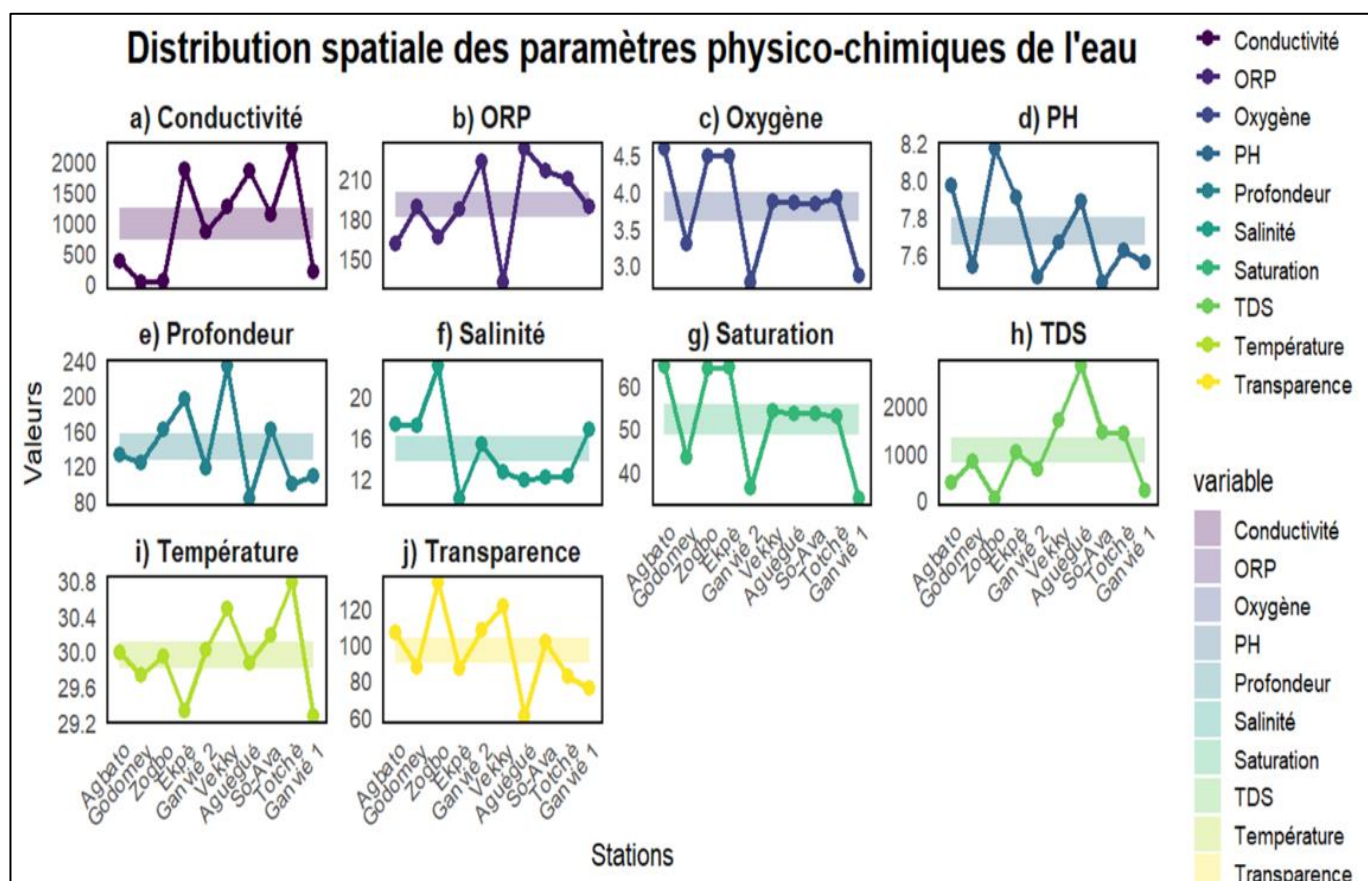


Figure 3 : Distribution spatiale des paramètre physico-chimiques dans l'eau

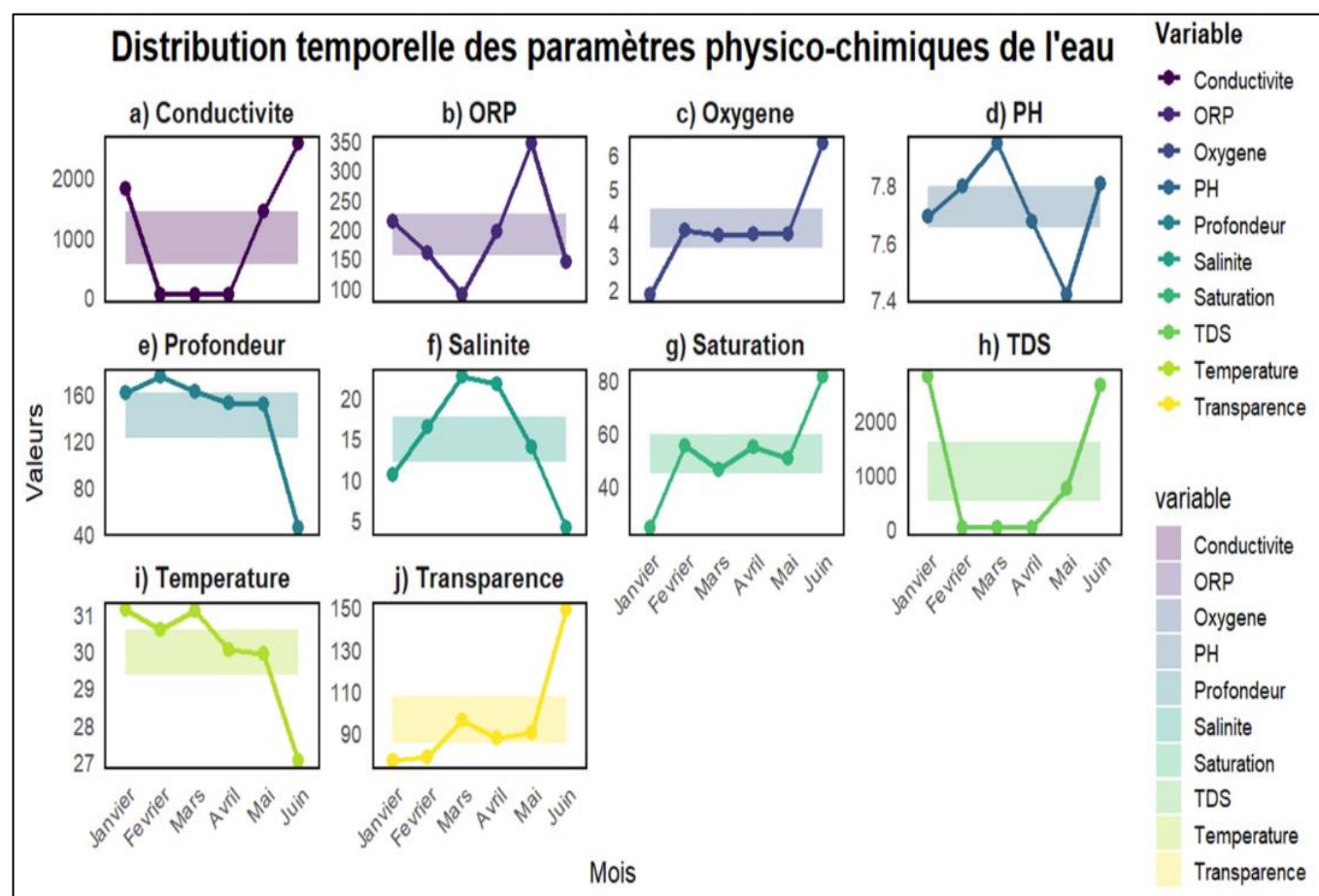


Figure 4 : Distribution temporelle des paramètre physico-chimiques dans l'eau

3.1.1.1. Température

La variation spatiale des valeurs moyennes de la température sur les 10 Stations, représentée par la figure (3 i), montre une variation en dents de scie sur toutes les stations dont les valeurs sont comprises entre 29 et 30 °C. Les valeurs maximales et minimales sont observées respectivement à Totchè $30,8 \pm 2,1$ C et Ganvié $29,3 \pm 1,2$ °C avec une valeur moyenne de $30 \pm 0,5$ °C sur l'ensemble du Lac. La variation temporelle (figure 4 i), montre aussi une variation en dents de scie avec une légère décroissance de janvier à mai puis chute de mai à juin avec une valeur maximale de $31,1 \pm 0,1$ °C en janvier et une valeur minimale de $27 \pm 0,1$ °C en juin. Cette élévation de la température en janvier est due à la saison sèche, caractérisée par l'ensoleillement maximal, le vent sec et chaud venant du Sahara, entraînant une évaporation plus importante de l'eau. Cela fait augmenter la température de l'eau. Sa baisse au mois de juin s'explique par le fait que ce mois est marqué par la saison des pluies où l'humidité est plus élevée. La couverture nuageuse et les précipitations atténuent les températures de l'air, ce qui fait que l'évaporation de l'eau est influencée par l'humidité. Ainsi, la température de l'air a tendance à refroidir la surface de l'eau du lac. Le test de Kruskal-Walis n'a pas relevé une différence significative entre les données de la température sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre, ce test révèle de différences très très significatives entre les données mensuelles de la température ($p < 0,001$).

3.1.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Du point de vue spatial présenté par la figure 3 d, montre une variation en dents de scie du pH. La plus grande valeur du pH est observée à Zogbo $8,2 \pm 0,4$ et la plus petite valeur est enregistrée à Sô-Ava $7,5 \pm 0,5$. La valeur moyenne du pH sur l'ensemble du lac est de $7, \pm 0,2$. Sur le plan temporel (figure 4 d), on note une croissance légère du pH de janvier à mars, puis elle chute de mars à mai et remonte de mai à juin avec une valeur maximale de $8, \pm 0,2$ en mars et une valeur minimale de $7,4 \pm 0,2$ en mai. Le mois de mars, étant un mois sec, on assiste à la réduction d'apport d'eau douce entraînant la concentration des sels dissoutes dans l'eau ce qui augmente le pH. Cela explique la valeur élevée du pH dans ce moi. Par contre, mai étant un mois humide, on assiste à l'augmentation d'eau douce contenant des acides dissous ce qui diminue le pH. Le test de ANOVA a relevé une différence très significative entre les données du pH sur les différentes stations ($p < 0,01$) et une différence très très significative entre les données mensuelles du pH ($p < 0,001$).

3.1.1.3. Oxygène dissous

De la variation spatiale présentée par la figure (3 c), les petites valeurs de la teneur en oxygène dissous sont observées à Godomey, Ganvié2 et Ganvié1 avec une valeur minimale de $2,8 \pm 1,4$ ppm à Ganvié2 et les plus fortes teneurs sont observée à Agbato, Zogbo et Epkè avec une valeur maximale de $4,6 \pm 1,4$ ppm à Agbato. La valeur moyenne est de $3,8 \pm 0,6$ ppm sur l'ensemble du lac. De la variation temporelle (figure 4 c.), on constate une augmentation de janvier à février de la teneur en oxygène dissous, elle devient presque constante de février à mai, puis augmente brusquement de mai à juin. On note une forte valeur en juin $6,3 \pm 0,6$ ppm et une petite valeur en Janvier $1,8 \pm 0,8$ ppm. La faible valeur l'oxygène dissous observée en janvier est due à la décomposition de la matière organique drainée pendant la saison pluvieuse. Le test de ANOVA n'a pas relevé une différence significative entre les données de l'oxygène dissous sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre ce test relève une différence très très significative entre les données mensuelles de l'oxygène dissous ($p < 0,001$).

3.1.1.4. Salinité

De la figure, 3 f présentant la variation spatiale de la salinité, la plus forte valeur est obtenue à Zogbo $22,9 \pm 6,6$ PSU et la plus petite valeur à Epkè $10 \pm 9,3$ PSU avec une valeur moyenne de $14,8 \pm 3,8$ PSU sur l'ensemble du lac. Du point de vue temporel (figure 4 f.), on note une augmentation brusque de la salinité de janvier à avril $21,6 \pm 2,5$ PSU, puis chute d'avril à juin $4 \pm 3,8$ PSU. La faible teneur de la salinité en juin, est due aux effets de dilution des fortes précipitations. Le test de Kruskal-Walis n'a pas relevé une différence significative entre les données de la salinité sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre ce test révèle de différences très très significatives entre les données mensuelles de la salinité ($p < 0,001$).

3.1.1.5. Conductivité électrique

Du point de vue spatial présenté par la figure 3 a, les petites valeurs de conductivité sont obtenues à Godomey, Zogbo, Ganvié1 et Agbato avec une valeur minimale de $27,8 \pm 9,5$ mS/Cm à Godomey et les plus fortes valeurs à Totchè, Aguégoué et Epkè avec une valeur maximale de $2\,209,3 \pm 3\,976,3$ mS/Cm à Totchè. La valeur moyenne est de $979,6 \pm 814,3$ mS/Cm sur l'ensemble du lac. La variation temporelle de la conductivité (figure 4 a.), montre une diminution de la conductivité de janvier à février, reste constante et faible de février à avril $34,5 \pm 3,7$ mS/Cm puis augmente de façon exponentielle d'avril à juin $2564,4 \pm 2306$ mS/Cm. La faible conductivité observée en février, mars et avril s'explique par le fait que cette période

coïncide généralement avec le début des pluies, ce qui entraîne des apports importants d'eau douce provenant des précipitations, diluant ainsi les solutés présents dans l'eau et réduisant la conductivité. Le test de Kruskal-Wallis n'a pas relevé une différence significative entre les données de la conductivité sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre ce test révèle de différences significatives entre les données mensuelles de la conductivité ($p < 0,05$).

3.1.1.6. Solides Totaux dissous (TDs) de l'eau

De manière spatiale (figure 3 h.) les faibles valeurs de TDs sont obtenues à Zogbo, Ganvié1 et Agbato avec une valeur minimale de $19,8 \pm 2,3$ g/LTDs à Zogbo et des fortes valeurs à Aguégoué, Vekky et de Sô-Ava avec une valeur maximale de $2\,842,7 \pm 3\,784,5$ g/LTDs à Aguégoué. La valeur moyenne est de $1041,2 \pm 840,1$ g/LTDs sur l'ensemble du lac. De la figure 4 h présentant la variation temporelle, on note une diminution de la teneur en TDs de janvier à février, elle devient constante de février à avril $17,2 \pm 1,8$ g/LTDs puis augmente brusquement d'avril à juin $2650 \pm 2387,3$ g/LTDs. La teneur élevée de TDs en juin est due aux surplus de sels apportés par les eaux de ruissellement pendant la pluie. Le test de Kruskal-Wallis n'a pas relevé une différence significative entre les données du TDs sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre ce test révèle de différences très très significatives entre les données mensuelles du TDs ($p < 0,001$).

3.1.1.7. Saturation de l'eau

De la variation spatiale présentée par la figure 3 g, les petites valeurs de saturation sont observées à Ganvié 1, Ganvié 2 et Godomey avec une valeur minimale de $33,45 \pm 20,42$ %OD à Ganvié 1 et les plus fortes valeurs sont obtenues à Agbato, Zogbo et Epkè et une valeur maximale de $64,60 \pm 17,52$ %OD à Agbato. On note une valeur moyenne de $51,92 \pm 11,22$ %OD sur l'ensemble du lac. La figure 4 g présentant la variation temporelle, montre une légère augmentation de la saturation de l'eau de janvier à février, devient presque constante de février à mai $50,49 \pm 14,78$ %OD avec une petite fluctuation puis augmente de Mai à Juin $81,27 \pm 7,57$ %OD. La plus petite valeur est observée en Janvier $24 \pm 11,92$ %OD et la plus grande en Juin $81,27 \pm 7,57$ %OD. Juin marque le début de la grande saison des pluies, ce qui entraîne des apports significatifs d'eau douce dans le lac. Ces précipitations favorisent le mélange des couches d'eau, augmentant ainsi l'oxygénation de l'eau en surface. Ce qui justifie forte teneur observée. Le test de ANOVA a relevé une différence très très significative entre les données de la saturation sur les différentes stations et entre les données mensuelles de la saturation ($p < 0,001$).

3.1.1.8. Potentiel d'oxydo redox (ORP) de l'eau

La figure 3 b montre la variation spatiale de ORP. De cette figure, les plus petites valeurs d'ORP sont observées à Vekky, Zogbo et Agbato avec une valeur minimale de $131,4 \pm 73,9$ mvORP à Vekky et les plus fortes valeurs à Aguégué et Ganvié 2 avec une valeur maximale de $232,41 \pm 92,5$ mvORP à Aguégué. La valeur moyenne est de $190 \pm 31,5$ mvORP sur l'ensemble du lac. Du point de vue temporel (figure 4 b.), on note une diminution presque légère de la teneur en ORP de janvier à mars, augmente brusquement de mars à mai $343,4 \pm 7$ mvORP et chute de mai à juin $143,8 \pm 45$ mvORP. Le test de Kruskal-Wallis n'a pas relevé une différence significative entre les données de l'ORP sur les différentes stations ($p > 0,05$). Par contre ce test révèle de différences très très significatives entre les données mensuelles de l'ORP ($p < 0,001$).

3.1.1.9. Transparence

La figure 3 j présente la variation spatiale de la transparence de l'eau, de cette figure les faibles valeurs de transparence sont observées à Aguégué, Ganvié 1, Epkè et Godomey avec une valeur minimale de $60,2 \pm 39,1$ Cm à Aguégué et les fortes valeurs sont observées à Zogbo et Vekky avec une valeur maximale de $133,6 \pm 19$ Cm à Zogbo. On note une valeur moyenne de 96 ± 22 Cm sur l'ensemble du lac. Du point de vue temporel (figure 4 j), on note une augmentation presque légère de la transparence de l'eau de janvier à mai $7,6 \pm 45,9$ Cm à $89,6 \pm 27,6$ Cm et augmente brusquement de mai à juin $148,7 \pm 30,4$ Cm. La forte teneur de la transparence en juin s'explique par les fortes pluies entraînant un ruissellement important qui dilue les particules en suspension et les matières organiques dans l'eau, ce qui réduit la turbidité et améliore la transparence de l'eau. Le test de ANOVA a relevé une différence significative entre les données de la transparence sur les différentes stations ($p < 0,05$) et une différence très très significative entre les données mensuelles de la transparence ($p < 0,001$).

3.1.1.10. Profondeur

Du point de vue spatiale (figure 3 i), les faibles profondeurs sont observées à Aguégué, Totchè, Ganvié1, Ganvié 2, Godomey et Agbato avec une valeur minimale de $81,3 \pm 46,8$ Cm à Aguégué et les fortes profondeurs à Vêkky, Epkè et Sô-Ava avec une valeur maximale de $233,4 \pm 140,3$ Cm à Vekky. On note une valeur moyenne de $140,9 \pm 46,6$ Cm sur l'ensemble du lac. De la figure 4 i, présentant la variation temporelle, on note une décroissance nette de la profondeur de janvier à juin dont les valeurs sont comprises entre $161,2 \pm 104,6$ Cm et $44,6 \pm 18,3$ Cm. La diminution de la profondeur observée en juin s'expliquerait par l'apport de sédiment via les eaux de ruissèlement pendant la saison pluvieuse. Le test de Kruskal-Wallis a

relevé une différence très significative entre les données de la transparence sur les différentes stations ($p < 0,01$) et une différence très très significative entre les données mensuelles de la transparence ($p < 0,001$).

3.1.2. Distribution spatiale des ETM, pesticides et hydrocarbures dans l’eau et sédiment

3.1.2.1. Distribution spatiale des ETM dans l’eau et sédiment

Les valeur moyennes, maximales, minimales et les écart types des teneurs des six (06) ETM (cadmium, cuivre, plomb, arsenic, zinc et mercure) dosés sur les dix (10) stations sont résumés dans le tableau 2 suivant : Les teneurs des différents éléments traces métalliques dosés dans l’eau sont comparées aux normes de l’Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2017).

Tableau 5 : Résumé des Eléments traces métalliques dosés sur le lac Nokoué

Paramètres	Cd eau	Cd séd	Pb eau	Pd séd	Cu eau	Cu séd	As eau	As séd	Zn eau	Zn séd	Hg eau	Hg séd
Agbato	0,000	0,070	0,000	0,000	0,000	0,570	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Godomey	0,670	0,460	0,020	0,010	5,380	3,720	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
Zogbo	0,330	0,290	0,010	0,010	2,680	2,350	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ekpè	0,090	0,540	0,000	0,010	0,760	4,370	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ganvié 2	0,000	0,540	0,000	0,010	0,000	4,370	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
Vekky	0,280	0,080	0,010	0,000	2,230	0,680	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010
Aguégué	0,160	0,380	0,000	0,010	1,300	3,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
So-Ava	0,080	0,080	0,000	0,000	0,620	0,640	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Totchè	0,000	0,160	0,000	0,000	0,000	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ganvié 1	0,080	0,380	0,000	0,010	0,650	3,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Moyenne	0,169	0,298	0,004	0,006	1,362	2,408	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001
Maximum	0,670	0,540	0,020	0,010	5,380	4,370	0,010	0,000	0,010	0,000	0,010	0,010
Minimum	0,000	0,070	0,000	0,000	0,000	0,570	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecartype	0,210	0,189	0,007	0,005	1,687	1,525	0,003	0,000	0,004	0,000	0,003	0,003
Norme	0,017ug/L	0,60mg/Kg	0,01mg/L	35mg/Kg	2mg/L	36mg/Kg	0,003mg/L	5,9mg/Kg	0,01mg/L	120mg/Kg	0,006mg/L	0,17mg/Kg

Cd=Cadmium ; Cu=Cuivre ; Pb=Plomb ; As=Arсенic ; Zn=Zinc ; Hg=Mercure, Sed=Sédiment

➤ Cadmium

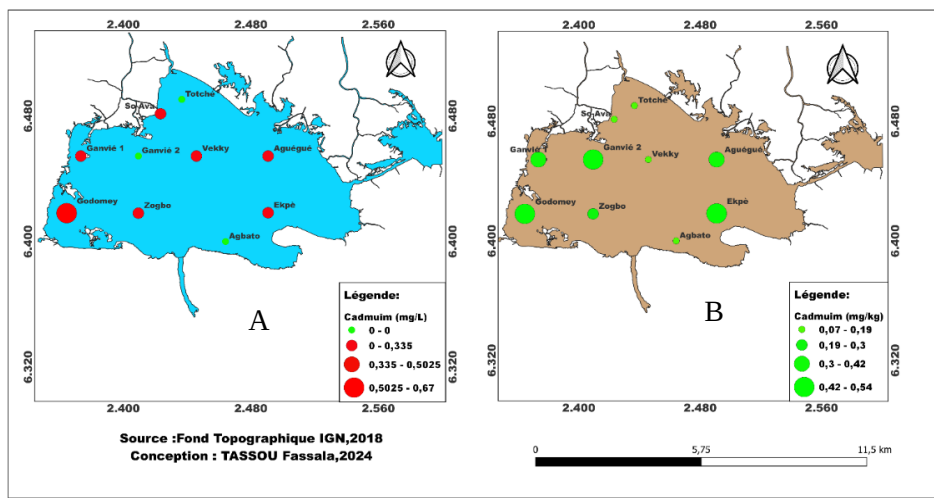


Figure 5 : Variation spatiale de cadmium dans l’eau (A) et sédiment (B) du Lac Nokoué.

La figure 5 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en cadmium dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les dix (10) stations. La teneur en cadmium dans l'eau (figure A) dépasse le seuil recommandé par la norme (0,017ug/L soit 0,000017mg/L) avec une valeur maximale de 0,67 mg/L à Godomey sauf à Totchè, Ganvié2 et Agbato où elle est nulle. La valeur moyenne du cadmium dans l'eau sur l'ensemble du lac est de $0,17 \pm 0,21$ mg/L. La teneur en cadmium dans le sédiment (figure 5 B) est en dessous de la norme (35 mg/kg) avec les faibles teneurs à Sô-Ava, Totchè, Vêkky et Agbato et les plus fortes teneurs à Ganvié2, Godomey et Ekpè. La valeur moyenne du cadmium dans le sédiment sur l'ensemble du lac est de $0,298 \pm 0,19$ mg/kg qui est inférieurs à la norme (0,60mg/kg).

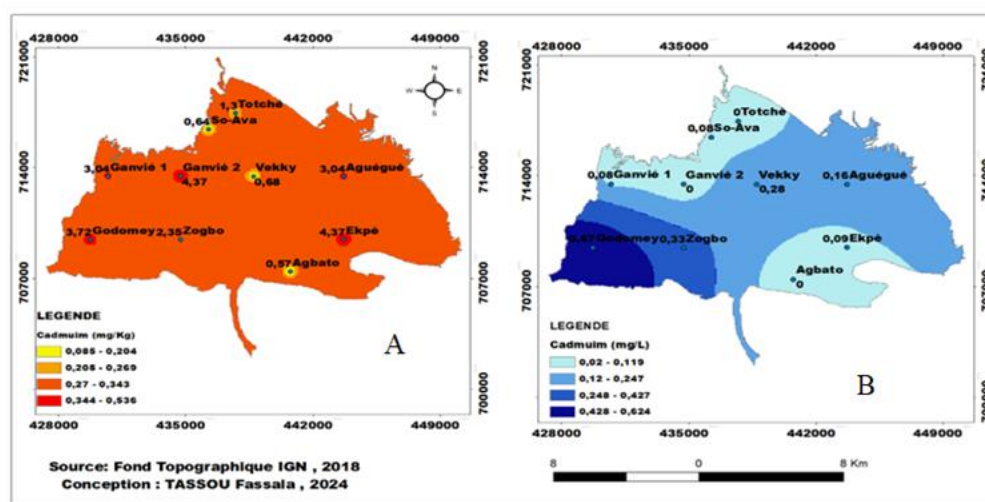


Figure 6 : Estimation de la teneur en cadmium dans l'eau(B) et sédiment(A) sur l'ensemble du lac.

La figure 6 (A et B) présente l'estimation de la teneur en cadmium dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. De cette figure, on constate que le cadmium se trouve partout dans le sédiment (figure 6A). Par contre, pour l'eau (figure 6B), le cadmium est plus concentré à Godomey ; Zogbo, Vêkky, Aguégué et le chenal de Cotonou avec un teneur supérieure à la norme (0,017mg/L).

➤ Cuivre

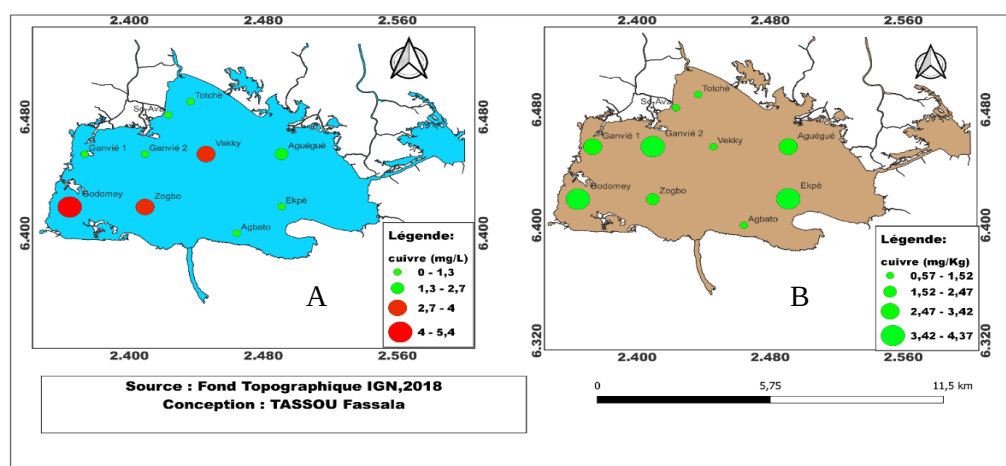


Figure 7 : Variation spatiale de cuivre dans l'eau (A) et sédiment (B) sur le lac Nokoué.

La figure 7 (A et B) présente la variation spatiale de la teneur en cuivre dans l'eau (A) et sédiment (A) dosés sur les 10 stations. La teneur en cuivre dans l'eau (figure 15 A.), sur les stations (Godomey, Zogbo et Vêkky) dépasse le seuil recommandé par l'OMS (2 mg/L), avec une valeur maximale 5,38 mg/L à Godomey. Cette teneur est nulle à Agbato, Ganvié 2 et Totchè. On enregistre une valeur moyenne de $1,362 \pm 1,69$ mg/L sur l'ensemble du lac. La teneur en cuivre dans le sédiment (figure 7B), est en dessous des normes canadiennes (36 mg/kg) dont les fortes teneurs sont observées à Godomey, Ganvié1 et Ekpè. On note une valeur maximale de 4,37 mg/kg à Ganvié2 et une valeur minimale de 0,57 mg/kg à Agbato avec une valeur moyenne de $2,408 \pm 1,53$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

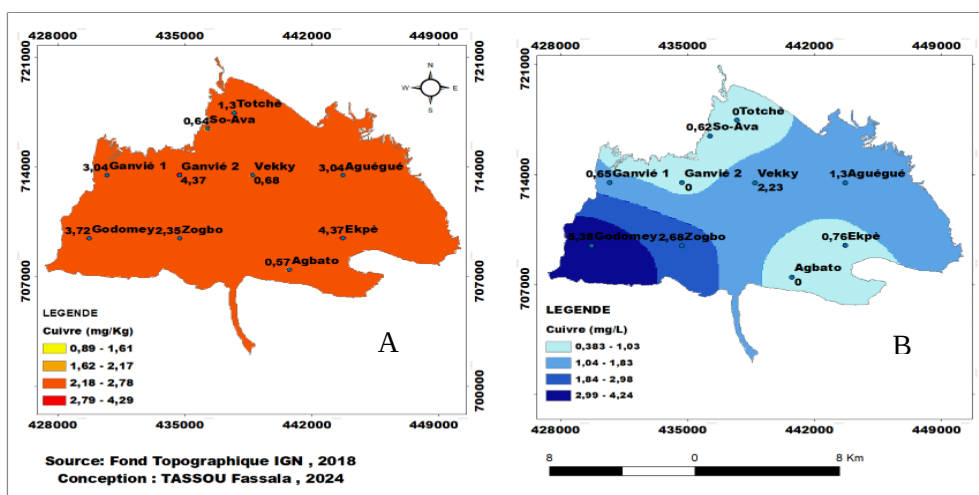


Figure 8 : Estimation de la teneur en cuivre dans l'eau(B) et sédiment(A) sur l'ensemble du lac.

La figure 8 (A et B) présente l'estimation de la teneur en cuivre dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. De cette figure, on constate que le cuivre se trouve partout dans le sédiment (figure 8A). Par contre, pour l'eau (figure 8B), le cuivre est plus concentré à Godomey ; Zogbo, Vékky, Aguégue et le chenal de Cotonou avec un teneur supérieure à la norme.

➤ Plomb

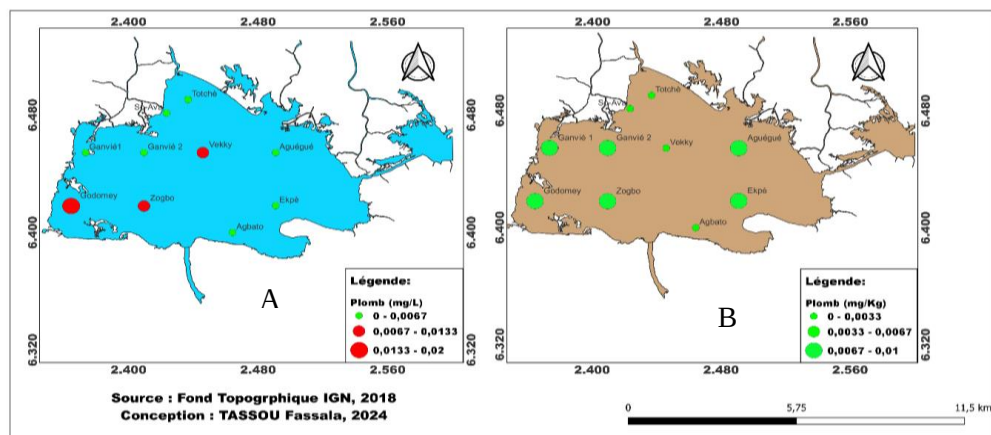


Figure 9 : Distribution spatiale des teneurs en plomb dans l'eau (A) et dans les sédiments (B) sur les 10 stations.

La figure 9 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en plomb dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les 10 stations. La teneur en plomb dans l'eau (figure 9A), sur les stations Godomey, Zogbo et Vékky, dépasse la norme de l'OMS(0,01mg/L) avec une valeur maximale de 0,020 mg/L à Godomey. Elle est nulle sur le reste des stations. La valeur moyenne est de $0,004 \pm 0,007$ mg/L sur l'ensemble du lac. La teneur en plomb dans le sédiment (figure 9B), sur les 10 stations est en dessous de la norme canadienne (35 mg/kg). On note les mêmes teneurs 0,01mg/kg sur les stations sauf sur les stations Agbato, Vékky, Sô-Ava et Totchè où elle est nulle.

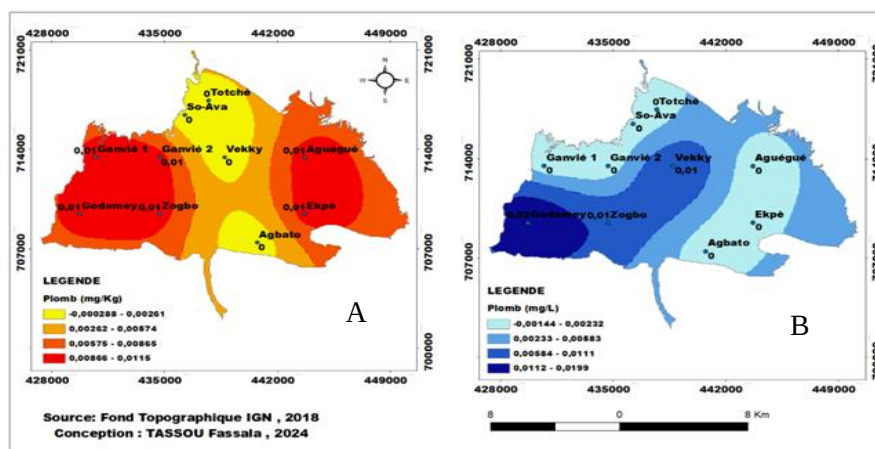


Figure 10 : Estimation de la teneur en plomb dans l'eau(B) et sédiment(B) sur l'ensemble du lac.

La figure 10 présente l'estimation de la teneur en plomb dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. De cette figure, la teneur en plomb dans le sédiment est plus concentrée à Ganvié1, Godomey, Ganvié2, Ekpè et Aguégué (figure 10A). Mais dans l'eau (figure 10B), cette teneur est plus concentrée à Godomey, Zogbo et Vekky et le chenal de Cotonou.

- Pour les ETM (Arsenic, Zinc et Mercure), on note une quasi inexistence de ces trois (03) métaux dans l'eau et sédiment. Néanmoins, pour l'arsenic on note sa présence dans l'eau sur une seule station (Godomey) avec une valeur de 0,010mg/L qui est en dessus de la norme fixée par l'OMS 0, 003mg/L et son absence totale dans le sédiment sur les dix (10) stations. Pour le zinc, on note sa présence dans l'eau sur deux stations (Godomey et Ganvié2) avec une même valeur de 0,010mg/L qui est égale à la norme fixée par l'OMS 0,01mg/L et son absence dans le sédiment sur les dix (10) stations. Quant au mercure, on note sa présence dans l'eau comme dans le sédiment sur une seule station (Vékky) avec une valeur de 0,010mg/L qui est en dessus de la norme fixée par l'OMS 0, 006mg/L pour l'eau et en dessous des normes 0,17mg/kg pour le sédiment.

3.1.2.2. Distribution spatiale des pesticides dans l'eau et sédiment

Les valeurs moyennes, minimales, maximales et l'ecartypes des 4 pesticides (Glyphosate, Atrazine, Flubendiamide et Spirotétramate) dosés sur les 10 stations sont résumés dans le tableau 3 ci-dessous. Les teneurs des différents pesticides dosés dans l'eau sont comparées aux normes canadiennes. On n'a pas encore les normes clairement définies en ce qui concerne leur teneur dans le sédiment.

Tableau 6 : Résumé des pesticides dosés sur le lac Nokoué

Paramètres	Gly eau	Gly séd	Atrazine eau	Atrazine séd	Fluben eau	Fluben séd	Spiro eau	Spiro séd
Agbato	0,002	0,020	1,428	3,995	0,122	0,000	0,000	0,000
Godomey	0,005	0,076	2,858	6,491	0,467	0,000	0,000	0,771
Zogbo	0,119	0,358	1,026	16,146	0,329	0,269	0,142	1,451
Ekpè	0,022	0,209	4,358	3,219	5,664	4,352	7,589	1,211
Ganvié 2	0,016	0,352	0,750	8,903	0,000	0,000	6,539	2,127
Vekky	0,134	0,244	4,456	6,162	0,000	0,000	2,253	0,000
Aguégué	0,127	0,004	4,712	4,168	0,000	0,000	1,011	0,000
So-Ava	0,138	0,010	1,837	3,535	0,000	0,000	0,000	0,000
Totchè	0,146	0,023	1,726	3,472	0,000	0,000	0,926	0,000
Ganvié 1	0,132	0,032	1,582	2,898	0,000	0,000	1,124	0,000
Moyenne	0,084	0,133	2,473	5,899	0,658	0,462	1,958	0,556
Maximum	0,146	0,358	4,712	16,146	5,664	4,352	7,589	2,127
Minimum	0,002	0,004	0,750	2,898	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecartype	0,063	0,144	1,511	4,065	1,767	1,370	2,793	0,790
Norme	0,1ug/L	820ug/Kg	0,5ug/L	-	0,1ug/L	-	0,1ug/L	-

Gly=Glyphosate, Fluben=Flubendiamide, Spiro= Spirotétramate, Séd= Sédiment

➤ Glyphosate

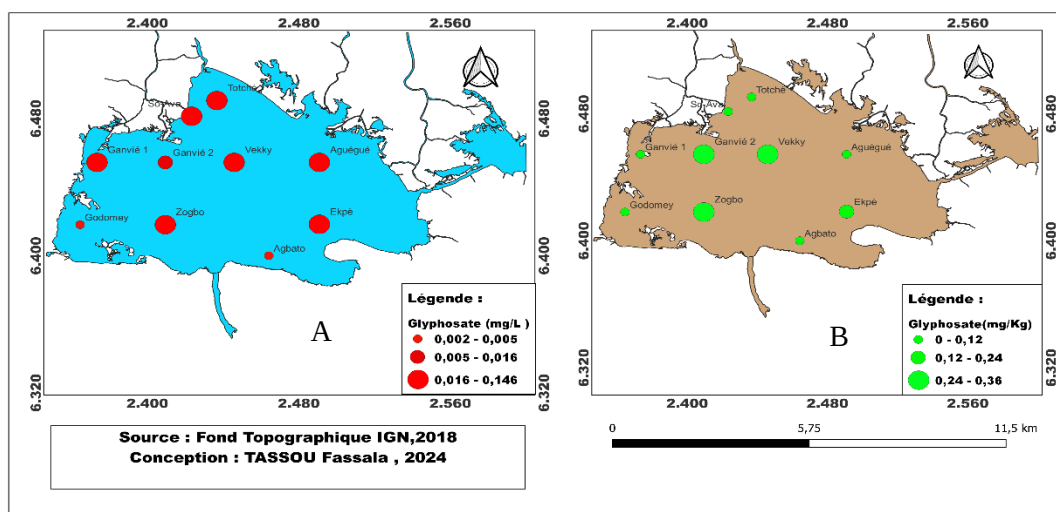


Figure 11 : Distribution spatiale de glyphosate dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 11 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en glyphosate dans l'eau et sédiment. La teneur en glyphosate dans l'eau (figure 11A), enregistrée sur les dix (10) stations dépasse les normes (0,1ug/L soit 0,0001mg/L), avec une valeur maximale de 0,146mg/L à Totchè et une valeur minimale de 0,002 mg/L à Agbato. La valeur moyenne enregistrée est de $0,084 \pm 0,06$ mg/L sur l'ensemble du lac. La teneur en glyphosate dans le sédiment (figure 11B), est en dessous de la norme (820ug/kg soit 0,82mg/kg) avec une valeur maximale de 0,36mg/kg à Zogbo et une valeur minimale de 0,004 mg/kg à Aguégué. La valeur moyenne est de $0,13 \pm 0,14$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

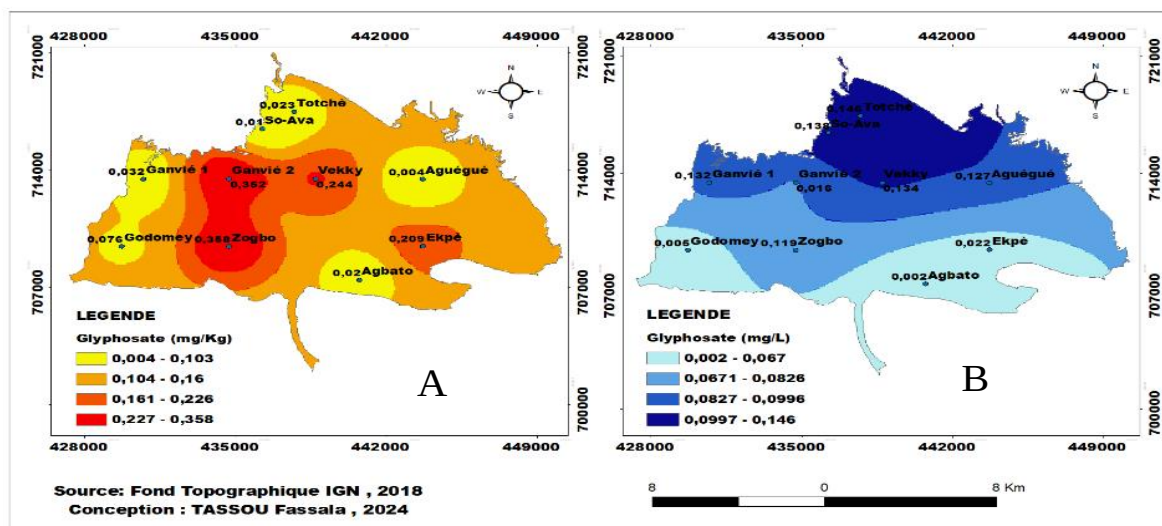


Figure 12 : Estimation de la teneur en glyphosate dans l'eau(B) et sédiment(A) sur l'ensemble du lac.

La figure 12 (A et B) présente l'estimation de la teneur en glyphosate dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. La teneur en glyphosate dans le sédiment (figure 12A) est plus concentrée à Ganvié 2, Zogbo, Vékky et Ekpè. Cette teneur dans l'eau (figure 12B) est concentrée dans presque dans tout le lac.

➤ Atrazine

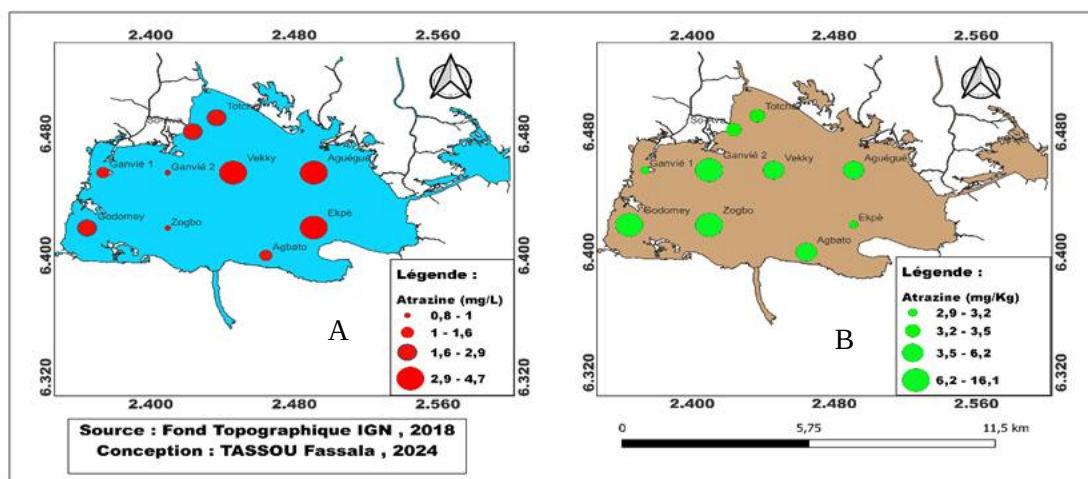


Figure 13 : Distribution spatiale de l'atrazine dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 13 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en Atrazine dans l'eau et sédiment sur les dix (10) stations. La teneur en atrazine dans l'eau (figure 13A) enregistrée sur les dix (10) est supérieure aux normes canadiennes (0,5ug/L soit 0,0005mg/L), avec une valeur

maximale de 4,712 mg/L à Aguégue et une valeur minimale de 0,750 mg/L à Ganvié 2. La valeur moyenne est de $2,473 \pm 0.75$ mg/L sur l'ensemble du lac. Quant à la distribution de la teneur en atrazine dans le sédiment (figure 13B), les fortes teneurs sont obtenues à (Godomey, Zogbo et Ganvié1) avec une valeur maximale de 16,146 mg/kg à Zogbo et une valeur minimale de 2,90 mg/kg à Ganvié1. La valeur moyenne est de $5,90 \pm 4,07$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

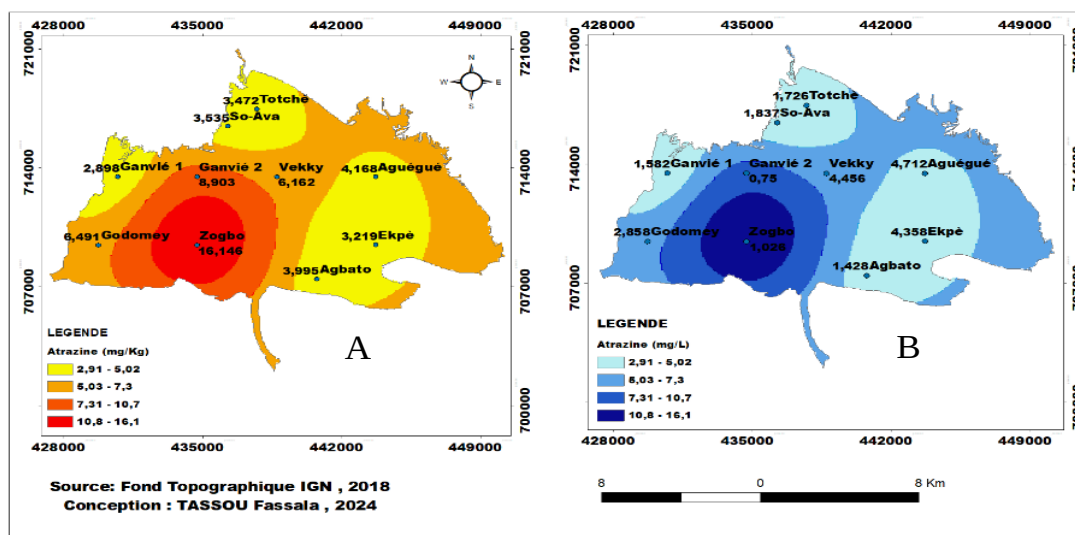


Figure 14 : Estimation de la teneur en atrazine dans l'eau(A) et sédiment(B) sur l'ensemble du lac.

La figure 14 (A et B) présente l'estimation de la teneur en atrazine dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. La teneur en atrazine est plus concentrée à Zogbo, Godomey, Ganvié 2, Vékky et le chenal de Cotonou dans le sédiment (figure 14A) comme dans l'eau (figure 13B).

➤ Flubendiamide

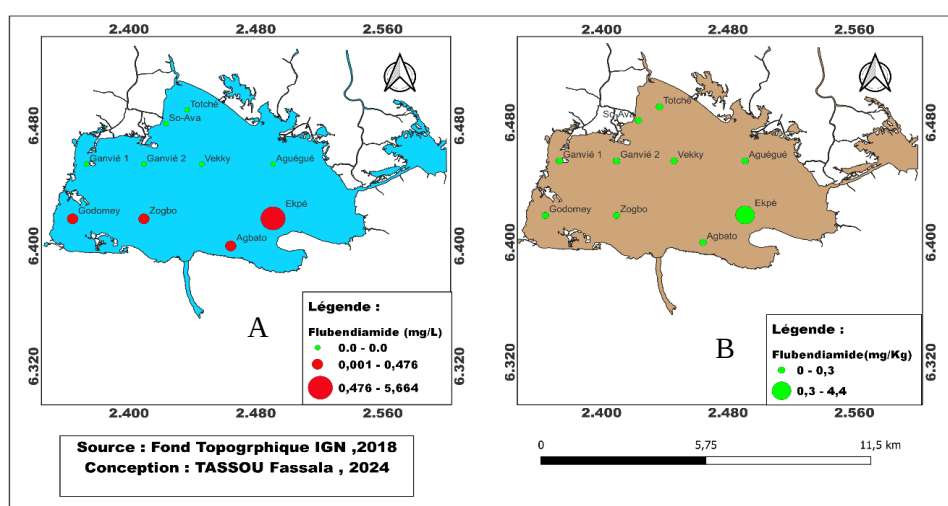


Figure 15 : Distribution spatiale du flubendiamide dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 14 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en flubendiamide dans l'eau

et sédiment sur les dix (10) stations. La teneur en flubendiamide dans l'eau (figure 14A) enregistrée sur les stations (Godomey, Zogbo, Agbato et Ekpè), dépasse les normes canadiennes (0,1ug/L soit 0,0001mg/L) avec une valeur maximale de 5,66 mg/L à Ekpè et est nulle sur le reste des stations. La valeur moyenne est de $0,66 \pm 1,77$ mg/L sur l'ensemble du lac. La teneur en flubendiamide dans le sédiment est nulle sur toutes les stations sauf sur deux stations (Zogbo et Ekpè) avec une valeur maximale de 4,35 mg/kg à Ekpè et une valeur moyenne de $0,46 \pm 1,37$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

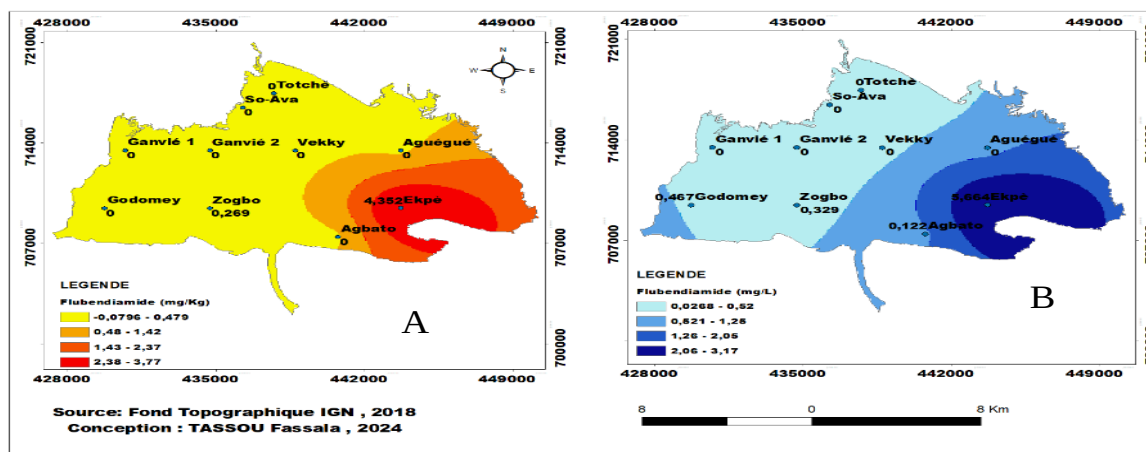


Figure 16 : Estimation de la teneur en flubendiamide dans l'eau(B) et sédiment (A) sur l'ensemble du lac.

La figure 16 (A et B) présente l'estimation de la teneur en flubendiamide dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. De cette figure, la teneur en flubendiamide est plus concentrée à Ekpè, Aguégué et Agbato dans le sédiment (figure 16A) comme dans l'eau (figure 16B).

➤ Spirotétramate

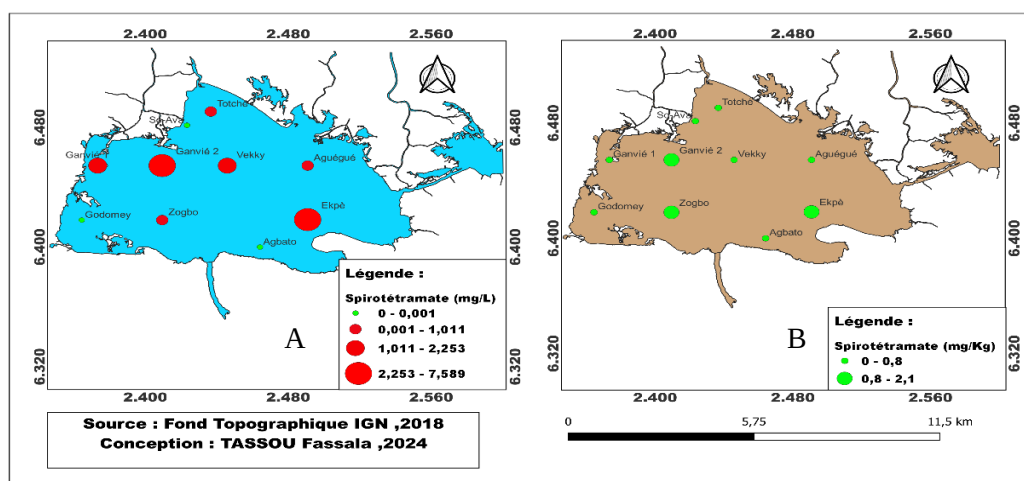


Figure 17 : Distribution spatiale de spirotétramate dans l'eau (A) et sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 17 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en spirotétramate dans l'eau et sédiment sur les dix 10 stations. La teneur en spirotétramate dans l'eau (figure 17A), sur les stations (Godomey ; Totchè et Agbato) est nulle, sur les autres stations, on enregistre des teneurs supérieures aux normes canadiennes (0,1ug/L soit 0,0001mg/L) avec une valeur maximale de 7,59 mg/L à Epkè, et une valeur moyenne de $1,96 \pm 2,79$ mg/L sur l'ensemble du lac. Pour la distribution de la teneur en flubendiamide dans le sédiment (figure 17 B), les teneurs sont nulles sur certaines stations sauf sur (Godomey, Zogbo, Epkè et Ganvié2) avec une valeur maximale de 2,13 mg/L à Ganvié2 et une valeur moyenne de $0,56 \pm 0,79$ mg/L sur l'ensemble du lac.

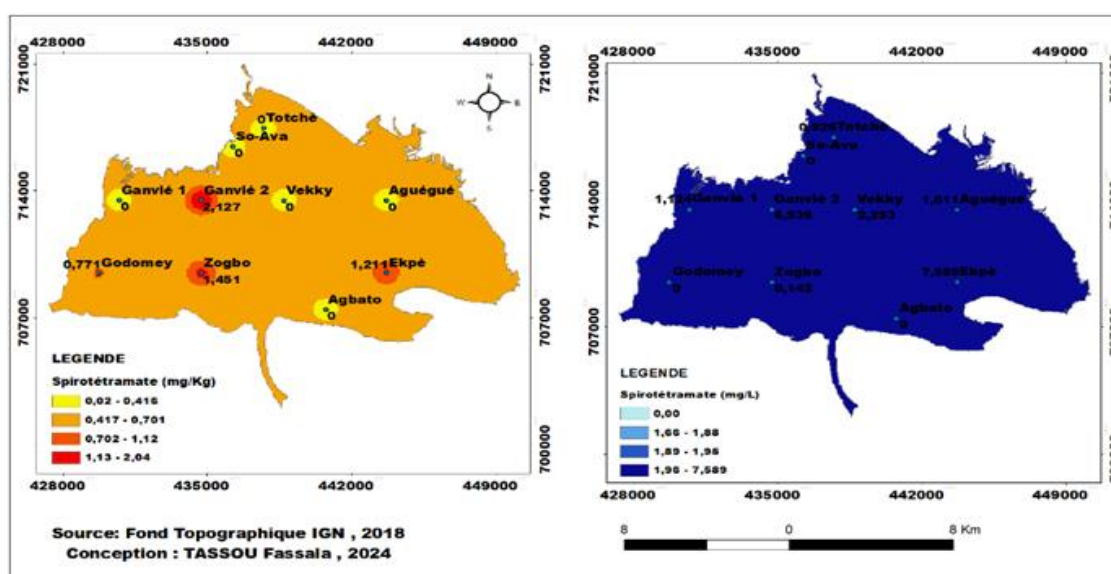


Figure 18 : Estimation de la teneur en spirotétramate dans l'eau (B) et dans sédiment(A) sur l'ensemble du lac.

La figure 18 (A et B) présente l'estimation de la teneur en spirotétramate dans l'eau et sédiment sur l'ensemble du lac. De cette figure, On retrouve spirotétramate sur tout le lac dans le sédiment (figure 18A) comme dans l'eau (figure 18B) avec une teneur supérieure à la norme dans l'eau.

3.1.2.3. Distribution spatiale des hydrocarbures dans l'eau et sédiment

Les valeurs moyennes, minimales, maximales et l'écartypes des hydrocarbures (hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux, les hydrocarbures pétroliers totaux et les polychlorobiphényles totaux) dosés sur les 10 stations sont résumés dans le tableau 4 ci-dessous. Les teneurs des différents hydrocarbures dosés dans l'eau et les sédiments sont comparés aux normes canadiennes.

Tableau 7 : Résumé des hydrocarbures dosés sur le lac Nokoué

Paramètres	PAHs eau	PAHs sédiment	TPH eau	TPH sédiment	PCBs sédiment	PCBs eau
Agbato	0,147	0,145	0,158	0,157	0	0
Godomey	0,018	0,137	0,019	0,148	0	0
Zogbo	0,050	0,134	0,054	0,145	0	0
Ekpè	0,028	0,118	0,030	0,127	0	0
Ganvié 2	0,033	0,151	0,036	0,163	0	0
Vekky	0,075	0,142	0,081	0,153	0	0
Aguégoué	0,121	0,149	0,131	0,161	0	0
So-Ava	0,119	0,150	0,129	0,162	0	0
Totchè	0,034	0,161	0,037	0,174	0	0
Ganvié 1	0,030	0,157	0,032	0,170	0	0
Moyenne	0,065	0,144	0,071	0,156		
Maximum	0,147	0,161	0,158	0,174	0,000	0,000
Minimum	0,018	0,118	0,019	0,127	0,000	0,000
Ecartype	0,047	0,012	0,051	0,014	0	0
Norme	0,01mg/L	1000mg/Kg	0,01mg/L	1000mg/Kg	-	-

PAHs=hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux, TPH= hydrocarbure pétroliers totaux, BCPs =polychlorobiphényles.

➤ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Totaux (PAHs)

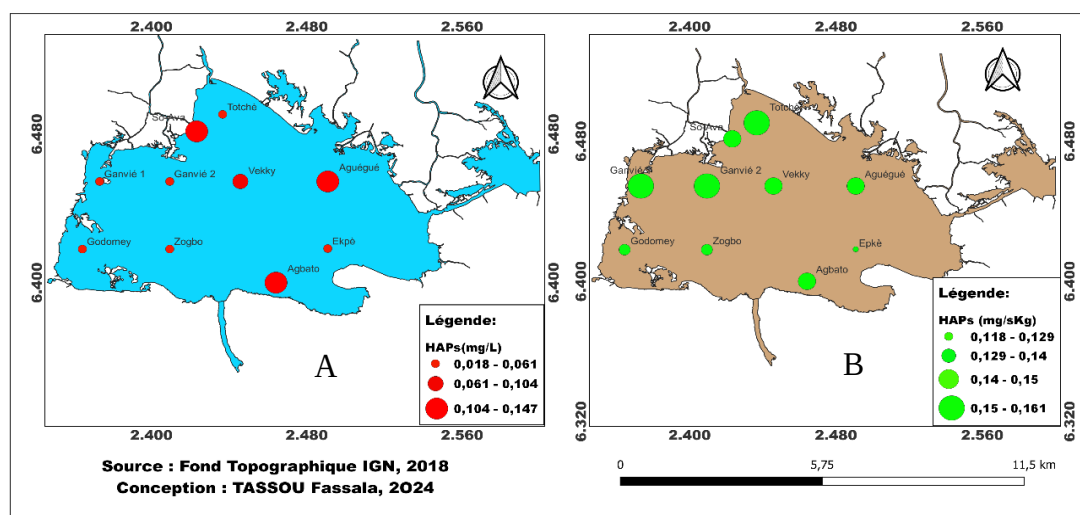


Figure 19 : Distribution spatiale de la teneur en PAHs dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 19 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans l'eau et dans sédiment sur les dix (10). La teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux (PAHs) dans l'eau (figure 19A) enregistrée sur les 10 stations

dépasse les normes canadiennes (0,01mg/L) avec une valeur maximale de 1,14mg/L à Agbato et une valeur minimale de 0,02mg/L à Godomey. La valeur moyenne est de $0,07 \pm 0,05$ mg/L sur l'ensemble du lac qui est en dessus de la norme. Pour la distribution spatiale de la teneur en PAHs dans le sédiment (figure 19 B), les valeurs observées sur les 10 stations sont en dessous de la norme (1000mg/kg) avec une valeur maximale de 0,16mg/kg à Totchè, et une valeur minimale de 0,12mg/kg à Ekpè. La valeur moyenne est de $0,14 \pm 0,01$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

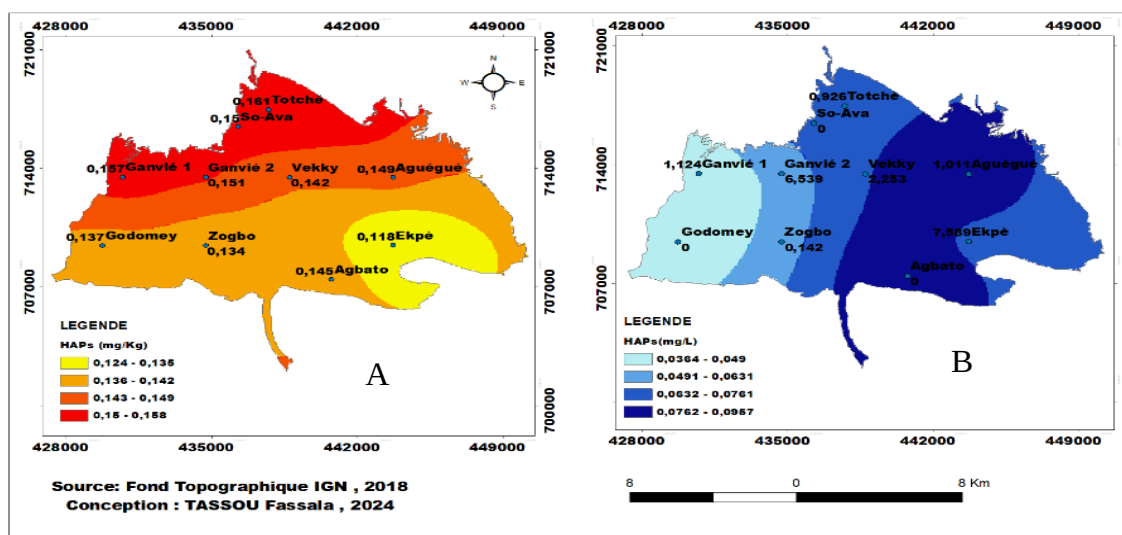


Figure 20 : Estimation de la teneur en HAPs dans l'eau (B) et dans sédiment(A) sur l'ensemble du lac.

La figure 20 (A et B) présente l'estimation de la teneur en PAHs dans l'eau et dans le sédiment sur l'ensemble du lac. La teneur en HAPs dans le sédiment (figure20A) est plus concentrée à Totchè, Sô-Ava, Ganvié 1 et 2. Par contre cette teneur dans l'eau (figure 20B) est supérieure à la norme avec des fortes concentrations à Vékky, Aguégue, Agbato et le Chenal de Cotonou.

➤ **Hydrocarbures pétroliers totaux (HPT)**

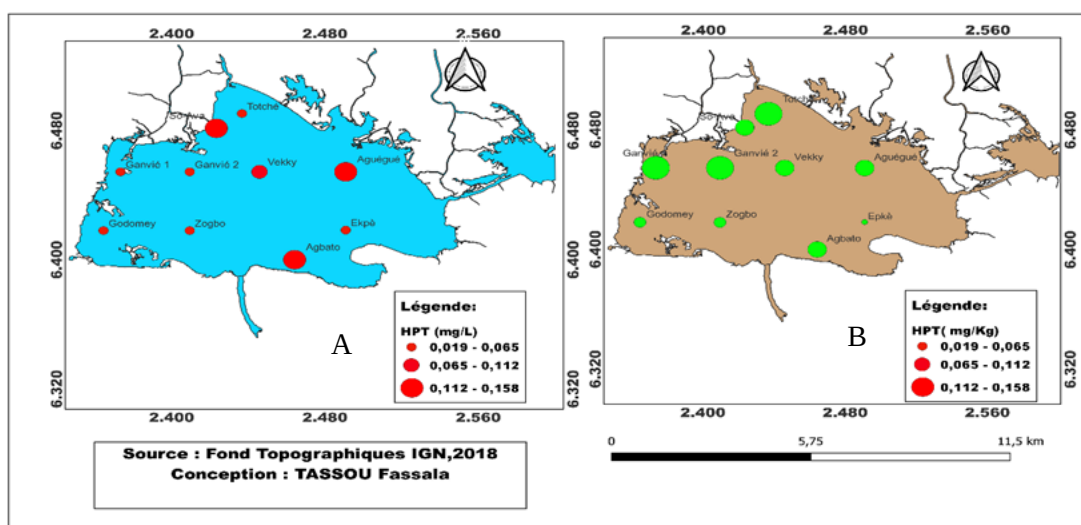


Figure 21 : Distribution spatiale des hydrocarbures pétroliers totaux dans l'eau (A) et dans sédiment (B) sur les 10 stations.

La figure 21 (A et B) présente la distribution spatiale de la teneur en HPT dans l'eau et sédiment sur les dix (10) stations. La teneur en HPT dans l'eau (figure 21 A) observée sur les 10 stations est supérieure aux normes canadiennes (0,01mg/L) avec une valeur maximale de 0,16mg/L à Agbato et une valeur minimale de 0,019mg/L à Godomey. La valeur moyenne est de $0,07 \pm 0,05$ mg/L. Pour la teneur en HPT dans le sédiment (figure 21 B), les valeurs observées sur les 10 stations sont en dessous de la norme (1000mg/kg) avec une valeur maximale de 0,17mg/kg à Totchè et une valeur minimale de 0,13mg/kg à Epkè. La valeur moyenne est de $0,16 \pm 0,01$ mg/kg sur l'ensemble du lac.

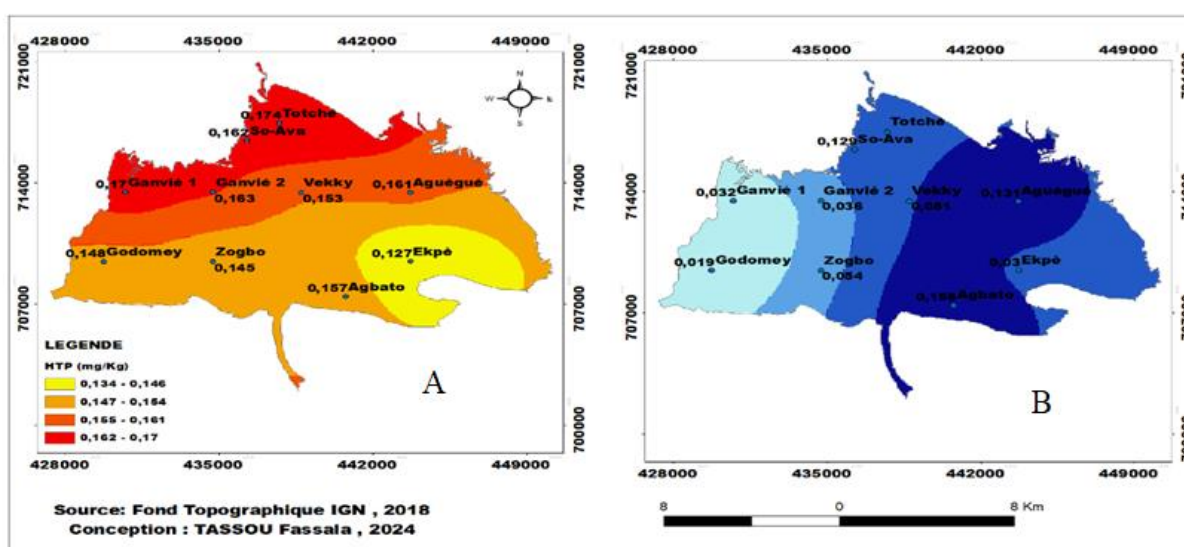


Figure 22 : Estimation de la teneur en HPT dans l'eau (B) et sédiment (A) sur l'ensemble du lac.

La figure 22 (A et B) présente l'estimation de la teneur en HPT dans l'eau et dans le sédiment sur l'ensemble du lac. La teneur en HPT dans le sédiment (figure 21A) est plus concentrée à Totchè, Sô-Ava, Ganvié 1 et 2. Par contre, cette teneur dans l'eau (figure 21B) est supérieure à la norme avec des fortes concentrations à Véky, Aguégué, Agbato et le Chenal de Cotonou.

- Pour les PAHS, 22 hydrocarbures aromatiques polycycliques a été dosés dans l'eau et dans le sédiment. Parmi les 22, seulement 3 sont présents dont Acénaphthylène (eau) et Benzo [e]pyrène, et 3-Methylcholanthrene (eau et sédiment). Quant aux BCPs, 14 polychlorobiphényles ont été dosés tous sont absents dans l'eau et dans sédiment (voir Annexe).

3.1.3. Corrélation entre les ETM, pesticides et hydrocarbures dans l'eau et ceux dans sédiment avec les stations

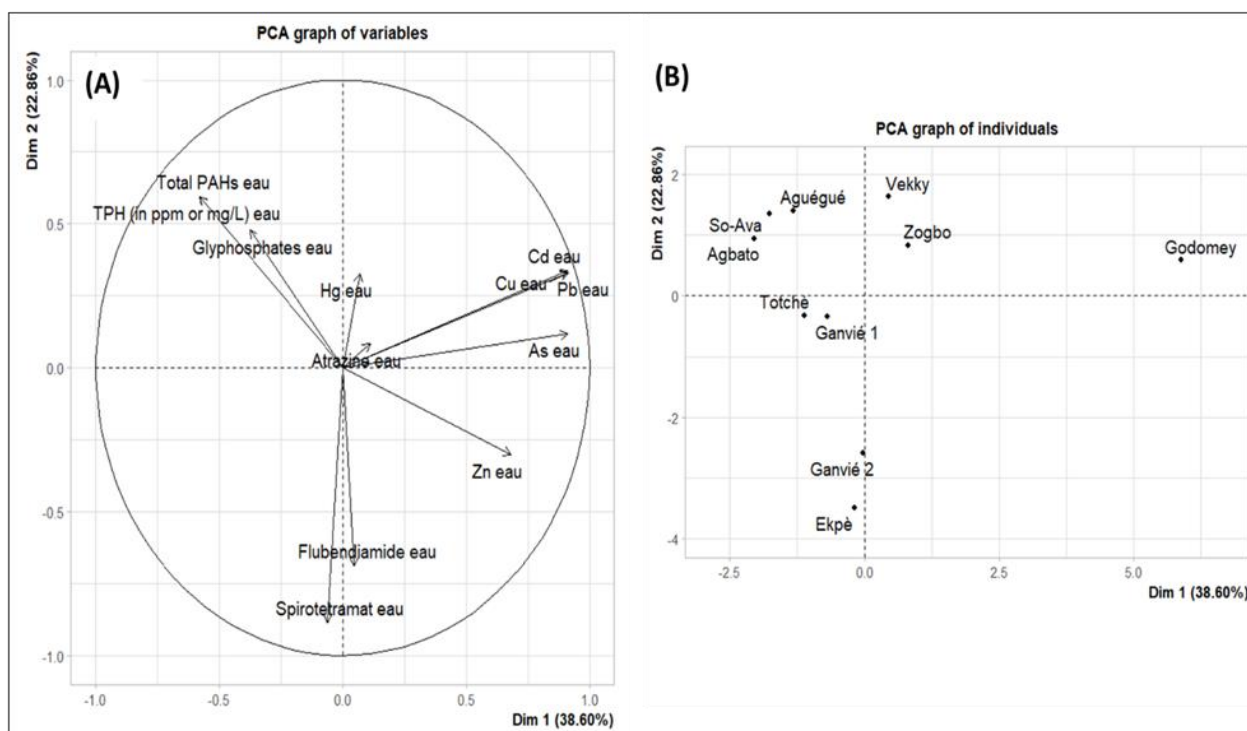


Figure 23 : Analyse en Composantes Principale des polluants dans l'eau (A) et Caractéristiques des stations (B) en termes de polluants dans l'eau.

L'analyse en composantes principales (figure 32 (A et B)) ci-dessus a permis d'aboutir à une corrélation des différents polluants dans l'eau autour des axes 1 et 2 nommés respectivement Dim 1 et Dim 2. Ces axes expliquent à 61,46 % de la variabilité observée, dont 38,60 % pour l'axe 1 et 22,86 % pour l'axe 2 de la variance, ce qui est significatif sur toute la variabilité d'influence des polluants dans l'eau sur les stations. L'analyse de la corrélation entre les trois polluants dans l'eau (figure 32 (A et B)) montre que le cadmium, le plomb, le cuivre, l'arsenic,

sont fortement corrélés entre eux et caractérisent les stations (Vékky, Zogbo et Gogomey). Ce qui signifie que ces ETM dans l'eau ont une même source. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux, les hydrocarbures pétroliers totaux et le glyphosate sont fortement corrélés entre eux et révèlent le statut des stations (Aguégué, Sô-Ava et Agbato). On en déduit qu'ils ont une source commune. Par contre, les stations Totchè, Ganvié1, Ganvié 2 et Ekpè sont caractérisées par une forte teneur en spirptétramate. De plus, aucune station ne présente une forte teneur en zinc et Fubendiamide.

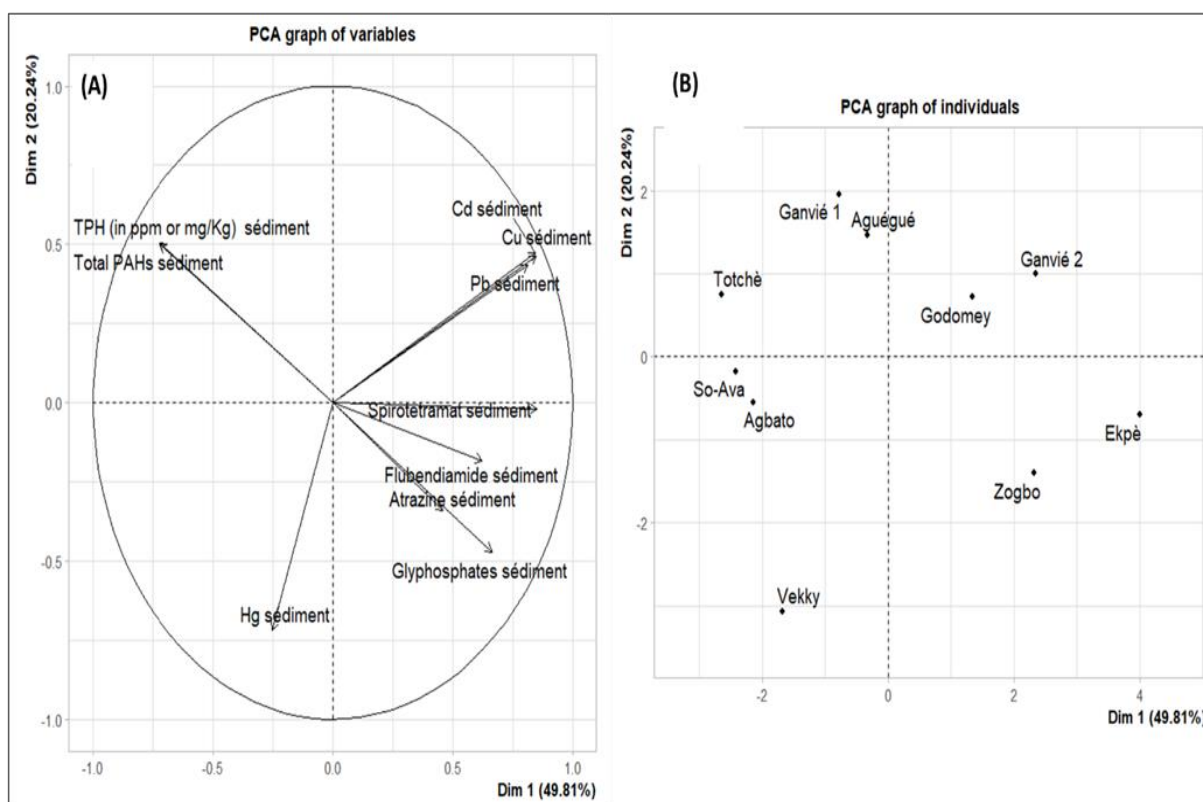


Figure 24 : Analyse en Composantes Principale des polluant dans le sédiment (A) et Caractéristiques des stations(B) en termes de polluants dans le sédiment.

L'analyse en composantes principales (figure 24 (A et B)) ci-dessus a permis d'aboutir à une corrélation des différents polluants dans le sédiment autour des axes 1 et 2 nommés respectivement Dim 1 et Dim 2. Ces axes expliquent 70 ; 05 % de la variabilité observée, dont 49,81 % pour l'axe 1 et 20,24 % pour l'axe 2 % de la variance totale, ce qui est significatif sur toute la variabilité d'influence des polluants sur les stations. L'analyse de la corrélation entre les différents polluants dans le sédiment (figure 33 (A et B)) montre que le plomb, le cuivre et le cadmium, sont fortement corrélés entre eux et caractérisent les stations (Gogomey et Ganvié2). Cela montre que ces ETM proviennent de la même source. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux et les hydrocarbures pétroliers totaux sont fortement corrélés

entre eux et révèlent le statut des stations (Totchè, Ganvié¹ et Aguégué). Ce qui signifie que les hydrocarbures obtenus dans le sédiment ont même provenance. Quant aux pesticides spirotétramate, flubendiamide, glyphosate et atrazine, ils sont fortement corrélés entre eux et caractérisent les stations (Zogbo et Epkè). On en déduit à cet effet que les pesticides observés dans les sédiments ont une source commune. Par contre les stations Sô-Ava, Agbato et Vékky sont caractérisées par une forte teneur en mercure.

3. 2. Discussion

La présente étude a permis d'évaluer le niveau de la pollution chimique de la matrice eau-sédiment du lac Nokoué. Les variations physico-chimiques obtenues à cet effet diffèrent d'un paramètre à un autre en fonction des stations et de la période d'échantillonnage.

3.2.1. Caractérisation des stations par les paramètres physico-chimiques

La température moyenne relevée sur l'ensemble du lac est de $30 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et dépasse la norme SEQ-eau (2003) qui est de 25°C . Cette valeur est similaire à celle obtenue par (Dovonou *et al.* 2011). L'élévation de la température se justifie par la faible profondeur du lac réduisant sa capacité à stocker et à distribuer la chaleur. Ce qui fait que les couches superficielles de l'eau deviennent plus chaudes, entraînant donc une élévation de la température de l'eau en surface (Vodougnon 2015).

La valeur moyenne du potentiel d'hydrogène (pH) est $7,8 \pm 0,2$. Ce pH, est conforme à la norme SEQ-eau (2003) qui comprise entre 6,5 et 9. Cette valeur du pH obtenue est similaire à celle de Agbandou *et al.* (2018). Cette neutralité relative serait due à l'intrusion marine. En effet, grâce au potentiel alcalin de l'océan, les sels dissous migrent dans le milieu continental et contribuent grâce à un phénomène osmotique à réguler le potentiel d'Hydrogène (Vodougnon 2015).

Les valeurs moyennes d'oxygène dissous et de saturation sont respectivement de $3,8 \pm 0,6 \text{ mg/L}$ et de $51,9 \pm 11,2 \% \text{ OD}$ qui sont en dessous de la norme SEQ-eau (2003). Ce résultat est semblable à celui de Dovonou *et al.* (2011). Ce déficit en oxygène dissous est dû à une croissance excessive d'algues et de macrophytes ou à l'invasion de la jacinthe d'eau. Ce phénomène s'accompagnerait d'une diminution de la quantité d'oxygène dissous accentuant ainsi les problèmes d'eutrophisation (Mama, 2010). De plus, la baisse de l'oxygène dissous dans un milieu peut aussi être due à la décomposition de la matière organique drainée vers ces eaux pendant la saison des pluies, qui occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, en particulier à l'interface eau/sédiment (Mama *et al.*, 2011).

La teneur moyenne en salinité enregistrée sur l'ensemble du lac est de $14,8 \pm 3,82 \text{ PSU}$. En période d'été, on observe une intrusion massive de l'eau de mer surtout pendant les hautes marées, ce qui rend l'eau du lac saumâtre par le contact étroit avec l'Océan atlantique via le chenal de Cotonou (Vinawamon, 2010).

Quant à la conductivité, la teneur moyenne relevée est de $979,6 \pm 814,2 \text{ Us/Cm}$, dépasse la norme SEQ-eau (2003) qui est de 800 uS/Cm . Cette valeur est inférieure à celle obtenue par (Vodougnon 2015). La conductivité étant étroitement liée à la teneur en sels dissous de l'eau, sa concentration élevée s'expliquerait par la pénétration de l'eau de l'Océan dans le lac Nokoué

à travers le chenal de Cotonou (Vodougnon 2015).

La teneur moyenne en TDS enregistrée est de $1041,2 \pm 840$ g/L Tds. Cela signifie que signifie que du lac contient beaucoup de sel.

La valeur moyenne de potentiel d'oxydo-réduction (ORP) est de $190 \pm 31,5$ mV. Cette valeur est inférieure à la norme SEQ-eau (2003) qui est comprise entre 300-500 mV. La faible valeur d'ORP témoigne d'une insuffisance de décomposition d'éléments présents dans l'eau et de leur accumulation nocive à la vie aquatique.

La valeur moyenne de transparence enregistrée est de 96 ± 22 cm et est inférieure à la norme SEQ-eau (2003) qui est comprise entre 600-500 Cm. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par (Vodougnon 2015). La faible transparence serait due à l'importance des eaux de ruissellement qui entraîneraient une augmentation des matières en suspension. En effet, plus de 27 canaux d'évacuations débouchant dans le Lac ont été recensés. La composition de ces canaux est variable, toutefois la tendance générale révèle une forte proportion de matières fermentescibles susceptibles d'altérer la transparence de l'eau (Vodougnon 2015).

La profondeur moyenne obtenue est de $140,86 \pm 46,65$ cm. Cette valeur est inférieure à celle de (Vodougnon 2015). La décomposition excessive des acadjas et leur utilisation abusive et l'érosion des berges sont autant de facteurs qui participent à la diminution de la profondeur et la transparence (Dovonou, 2008).

3.2.2. Distribution spatiale des ETM dans l'eau et sédiment

Les teneurs moyennes des ETM obtenues dans l'eau sont : 0,169 mg/L, 1,36 mg/L, 0,004 mg/L, 0,001 mg/L, 0,001 mg/L et 0,002 mg/L respectivement pour le cadmium, le cuivre, le plomb, l'arsenic, le zinc et le mercure. Toutes ces valeurs sont en dessous de la norme canadienne (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999) sauf le cadmium. Ces résultats obtenus dépassent ceux obtenus par (Agbohessi et al., 2023) 0,03 mg/L (Agbandou et al., 2018) 0,11mg/L (Kpiagou et al.2022) 0,0004 mg/L dans l'eau du bassin de Didagou au Togo (Agbandou et al., 2018) 0,0011mg/L respectivement pour le cadmium, le cuivre, le plomb, le zinc et le mercure. Par contre, ils sont inférieurs à ceux de (Kaki et al. (2011) 10,1 mg/L (Naeem et al., 2023) 6,66 mg/L respectivement pour le plomb et le mercure.

Les concentration moyennes des ETM obtenues dans le sédiment sont : 0,298 mg/kg, 2,408 mg/kg, 0,006 mg/kg et 0,001mg/kg respectivement pour le cadmium ; le cuivre, le plomb et le mercure. Ces concentrations sont en dessous de la norme (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999). Ces taux en ETM obtenus sont supérieurs ceux de (Ouattara et al., 2021) 0,2 mg/kg dans la rivière N'zi en Côte d'Ivoire pour le plomb et en dessous de ceux de

(Hounkpatin et al, 2012) 0,74mg/kg (Goussanou et al.,2018) 16,45 mg/kg dans le complexe lac nokoué-lagune de Porto-Novo (Chouti, 2011) 21,3 mg/kg dans le lac Ahémé (Zoffoun & Dassi, 2019) (0,03-0,13mg/Kg) respectivement pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le mercure.

Ces concentrations, élevées en ETM dans le lac Nokoué résultent du fait que ce dernier reçoit directement les ordures ménagères provenant des populations lacustres, des déchets biomédicaux des hôpitaux et cliniques basés dans les villages lacustres et surtout des hôpitaux situés à Cotonou. Ces déchets renferment des produits toxiques liés à la radiologie, aux laboratoires d'analyses, des déchets liés aux dentistes, les médicaments inutilisés, les thermomètres et piles cassés libérant entre autres, des éléments toxiques chimiques tels que les métaux toxiques, le plomb et le cuivre issus des piles usagées, le cadmium, le zinc, etc., (Adjagodo et al.2016 ; Bankolé & Olou, 2000.). De plus, ce cours d'eau reçoit également par l'intermédiaire du chenal de Cotonou, une quantité importante d'eaux usées, domestiques et de ruissellement des quartiers de Cotonou et d'Abomey-Calavi qui sont déversées sans aucun traitement (Saizonou et al., 2014 ; Youssao, et al., 2011).

3.2.3. Distribution spatiale des pesticides dans l'eau et sédiment

Les teneurs moyennes des pesticides dans l'eau sont : $0,084 \pm 0,063$ mg/L ; $2,473 \pm 1,51$ mg/L ; $0,658 \pm 1,77$ mg/L et $1,958 \pm 2,79$ mg/L respectivement pour le glyphosate, l'atrazine, le flubendiamide et la spirotétramate. Ces différentes concentrations sont largement supérieures aux normes canadiennes. Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux de (Goura et al., 2023) 0,01mg/L dans les eaux des pêcheries des crevettes de l'Ouémé Inférieur à Ouinhi, Gbaguidi et al. (2011) 0,10 mg/L dans la rivière Agbodo, et (Aikpo et al., 2015) 0,0017mg/L dans le lac Toho respectivement pour l'atrazine et le glyphosate. Par contre, ceux de (Goura et al., 2023) 1,88mg/L, 2,11mg/L 2,77mg/L (glyphosate), 3,40mg/L, 3,05mg/L (atrazine) respectivement dans les communes de Kétou, Zagnanado et Ouinhi sont supérieurs à nos résultats.

Les concentrations moyennes des pesticides dans le sédiment sur l'ensemble du lac sont : $0,133 \pm 0,14$ mg/kg, $5,899 \pm 4,07$ mg/kg ; $0,462 \pm 1,37$ mg/kg et $0,556 \pm 0,79$ mg/kg respectivement pour glyphosate, atrazine, flubendiamide et spirotétramate. Il faut notifier que ces types de pesticides n'ont pas fait objet d'une étude dans les sédiments.

Les fortes des pesticides observés dans les eaux de ce lac se justifie par d'importantes activités agricoles effectuées autours des berges de ce lac, notamment le maraichage. En effet ; de tous les monophosphates, le glyphosate [N-(phosphonométhyl) glycine] est le seul utilisé en agriculture au Bénin et représente un herbicide systémique post émergent ayant un spectre d'application large. Afin de réduire la main d'œuvre relative au sarclage et de disposer de temps

pour d'autres activités génératrices de revenus hormis l'agriculture, les cultivateurs utilisent de façon abusive cet herbicide ayant plusieurs nominations commerciales et donc se retrouve en solution aqueuse après le lessivage des espaces de culture traités posant les problèmes de contamination pour des eaux superficielles, des espèces aquatique et des utilisateurs de ces eaux (Agbohessi et al., 2023 ; Solomon & Thompson, 2003 ; Thorat et al., 2022) . Ce qui justifierait la forte concentration du Glyphosate dans le lac. Cependant, la culture du coton au Bénin, aujourd'hui, est par des pratiques actuelle est très consommatrice de pesticides et parmi ceux les plus recommandés dans le traitement phytosanitaire du cotonnier, il y a le Tihan 175 O-TEQ. Or le Tihan 175 O-TEQ est constitué du flubendiamide (100 g/L) et du spirotétramate (75 g/L) et utilisé pendant 2 à 4 traitements sur les 6 recommandés en fonction de la zone écologique (Agbohessi et al., 2012). Cela vient en confirmation au taux de ces éléments dans le milieu. Ces résultats viennent encore une fois prouver la densité des activités agricoles, mais aussi les déversements des eaux de l'amont contaminées par les activités agricoles. De plus, par le biais du fleuve Ouémé qui prend sa source au nord dans les massifs de l'Atacora, les effluents agricoles contenant des résidus de pesticides-coton des bassins cotonniers du nord et du centre sont drainés pendant la crue vers le lac Nokoué avant de se jeter dans l'Océan Atlantique via le chenal de Cotonou. Lors de ce passage, une grande partie de ces pesticides est laissée dans le lac. Ceci pourrait expliquer la forte contamination du lac par ces pesticides. Les travaux de Adechian en 2015 affirment que : les matières actives des pesticides les plus retrouvées dans le bassin cotonnier du Bénin sont le glyphosate, l'atrazine, le flubendiamide, le spirotétramate et les pyréthrinoides (Emamectine, Cyfluthrine, Cyperméthrine, Betacyfluthrine) (Adechian et al., 2015). Cela vient en renfort une fois encor aux résultats obtenus.

3.2.4. Distribution spatiale des hydrocarbures dans l'eau et sédiment

Les teneur moyennes des hydrocarbures taux dans l'eau sont : $0,065 \pm 0,047$ mg/L ; $0,071 \pm 0,051$ mg/L respectivement pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux et les hydrocarbures pétroliers totaux. Ces concentrations sont supérieurs à la norme canadienne. Ces hydrocarbures aromatiques totaux renferment les (Acénaphylène (eau) et Benzo [e] pyrène, et 3-Methylcholanthrene. Ces teneurs sont largement supérieures et différentes à celle obtenue par Tossou (2001) et $0,067$ à $0,137$ µg/L et (Dovonou et al., 2019) naphthalène ($0,01 - 0,03$ µg/L), l'acenaphtène ($0,02 - 0,05$ µg/L), l'anthracène ($0,09 - 0,1$ µg/L), la fluoranthène ($0,0 - 0,06$ µg/L) et l'acenaphtène ($0,07 - 0,1$ µg/L).

Les concentrations moyennes des hydrocarbures totaux dans le sédiment sont : $0,14 \pm 0,01$ mg/kg ; $0,16 \pm 0,01$ mg/kg respectivement pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux, les

hydrocarbures pétroliers totaux. Ces concentrations sont en dessous de la norme canadienne. Il faut notifier que ces hydrocarbures n'ont pas été dosés dans les sédiments du lac par les travaux antérieurs.

Ces résultats obtenus montrant la forte teneur en hydrocarbures dans le lac et s'explique en premier milieu par la proximité du Nigéria avec le Bénin, qui favorise le trafic frauduleux de produits pétroliers (essence, gasoil, huile à moteur, pétrole) (Hoteyi, et al.2014). De plus, il est montré dans la littérature qu'en plus des huiles de vidange de moteurs des barques motorisées qui sont régulièrement versées dans le lac, ce dernier sert également de lieu d'entreposage et de conservation des bidons pleins de produits pétroliers pendant des jours et des mois (Dovonou, 2008 ; Dovonou et al., 2011 ; Dovonou et al., 2019 ; Hoteyi et al.2014). Ce qui augmente le taux des hydrocarbures dans le lac. A cela, s'ajoute le fait que certains commerçants n'hésitent pas à renverser et à cacher des bidons pleins de ces produits dans le plan d'eau à la vue des forces de l'ordre pour échapper au contrôle (Hoteyi, et al., 2014). Afin d'éviter les naufrages ou bien pour diminuer la charge dans le but d'échapper aux poursuites douanières lors des transports, des déversements volontaires se font pour équilibrer les barques surchargées. On note également les déversements accidentels dus aux éclatements de bidons usagés et au chavirement des barques surtout lors des orages ou des forces de courants non maîtrisables par les conducteurs (Dovonou, 2008). Ces différentes situations entraînent le déversement massif de ces produits contenant des polluants le plan d'eau compromettant ainsi les qualités des eaux de cet écosystème.

Quant aux polychlorobiphényles, aucune goutte de teneur en polychlorobiphényles n'a été enregistrée dans le lac (dans l'eau comme sédiment) ce qui est contraire aux travaux de (Dovonou et al., 2019) qui suspecte leur présence dans l'eau.

Les différences observées sur l'ensemble de nos résultats peuvent sont liées à la nature et le milieu de collecte des eaux et sédiments, le régime hydrologique du milieu, la situation géographique des cours d'eaux et la période de collecte qui ne sont pas identiques. De même, les faibles teneurs des polluants observées dans les sédiments pourraient s'expliquer par le fait que le sédiment est tout temps en contact avec l'eau et par le phénomène de lessivage, les polluants dans les sédiments pourraient se retrouvés dans la colonne d'eau.

Conclusion et suggestions

Le lac Nokoué a pendant longtemps été menacé par la pollution chimique à cause de son hydrographie, il constitue le réceptacle des cours d'eau provenant du bassin cotonnier, des effluents charriés par les collecteurs d'eaux pluviales des villes environnantes et le transport des produits pétroliers de contrebande. L'évaluation de la pollution de ce plan d'eau par cette étude révèle que l'eau du lac est fortement polluée par les ETM (cadmuim), les pesticides (glyphosate, atrazine, flubendiamide et spirotétramate), les hydrocarbures aromatiques polycycliques et hydrocarbures pétroliers totaux et qui sont largement supérieurs à la norme recommandée. Par contre, les sédiments du lac sont moins contaminés par ces trois types de polluant, mais nécessite une attention particulière. Afin d'éviter un désastre écologique avec un lourd tribut sur la santé publique, il est donc impérieux d'accorder plus d'attention à la pollution de ce lac pour freiner l'érosion de la biodiversité et surtout préserver la santé des populations consommatrices des produits aquatiques.

Nos suggestions sont d'ordre scientifique et politique.

Sur le plan scientifique :

- doser ces trois types de polluants retrouvés dans le milieu et dans toutes les matrices eau- sédiment-organisme et ce pendant au moins les quatre (4) saisons de l'année pour une meilleure interprétation des données.
- privilégier les échantillonneurs Automatiques pour le prélèvement des échantillons de sédiment garantissant ainsi une grande précision et une bonne représentativité des échantillons.

Sur le plan politique :

- assurer une meilleure gestion des déchets ménagers des zones lacustres et des marchés des villes environnantes afin d'éviter qu'ils soient déversés dans les eaux du lac en sensibilisant les populations lacustres sur les bonnes pratiques, en instaurant la taxe de pollueur payeur pour décourager les actes de pollution et en renforçant le nettoyage des abords du lac en détruisant tous les dépotoirs sauvages existants.
- promouvoir l'agroécologie et les pratiques agricoles saines et durables qui ne font pas usage d'herbicides, de pesticides et d'engrais chimiques.
- lutter contre le trafic illicite des hydrocarbures en mettant à la disposition de la police lacustre les moyens nécessaires pour y parvenir et donc pour meilleur résultat.
- veiller à proscrire aux industries de déverser leurs déchets dans les eaux du lac et sanctionner les entreprises qui ne s'y conformeraient pas.

Références bibliographiques

- Adechian, S. A., Baco, M. N., Akponikpe, I., Toko, I. I., Egah, J., & Affoukou, K. (2015). Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 15 Numéro 2, Article Volume 15 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.16534>
- Adjagodo, A., Tchibozo, M. A. D., Kelome, N. C., & 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. *International journal of biological and chemical sciences*, 10(3), Article 3.
- Agbandou, B., Houessou, D., Thoto, F., & Chabi, G. (2018). Déséquilibre écosystémique du complexe lagunaire lac Nokoué—. <https://acedafrica.org/wp-content/uploads/2020/03/desequilibre-ecosystemique-du-complexe-lagunaire-lac-nokoue-lagune-de-porto-novo.pdf>
- Agbohessi, P., Guedegba, L., Pelebe, R., & Toko I. I. (2023). Exposition de la faune ichthyenne et autres animaux aquatiques aux polluants organiques, chimiques et biologiques dans le lac Nokoué au Sud du Bénin : Synthèse documentaire. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 11(3), Article 3.
- Agbohessi, P. T., Toko, I. I., Attakpa, E. Y., & Kestemont, P. (2012). Synthèse des caractéristiques physico-chimiques et effets écotoxicologiques du Tihan 175 O-TEQ utilisé dans la protection phytosanitaire du cotonnier au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical*
- Agbohessi, T. P., Toko, I. I., & Kestemont, P. (2012). État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cahiers agricultures*, 21(1), Article 1.
- Aikpo, F. H., Chabi, C. B., Ayi, V., Koumolou, L., Houssou, C. S., & Edoth, P. A. (2015). Evaluation de la contamination des eaux du fleuve Couffo dans la zone cotonnière de Djidja (Bénin) par les pesticides. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.50>
- Akoègninou, A., Houndagba, J. C., Tossou, M. G., Essou, J.-P., & Akpagana, K. (2001). La végétation d'une zone de transition entre la forêt dense humide semi-décidue et les savanes : La région de

- Banté (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Le Journal de Botanique*, 15(1), 99-108.
- Alsac, N. (2007). Dosage des métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn et Hg) dans les sols par ICP-MS. *Annales de Toxicologie Analytique*, 19(1), 37-41. <https://doi.org/10.1051/ata:2007006>
- Altındağ, A., & Yiğit, S. (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4), 552-556.
- Bankolé, A. L., & Olou, A. C. (2000). Évaluation de la pollution inorganique azotée et phosphorée dans les écosystèmes du lac Nokoué et du chenal de Cotonou. *Identification des sources. Mémoire pour l'obtention du DIT/CPU. Cotonou*, 82p.
- Bonny, B. S., Adjoumani, K., Seka, D., Koffi, K. G., Kouonon, L. C., Koffi, K. K., & Bi, I. A. Z. (2019). Agromorphological divergence among four agro-ecological populations of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) in Côte d'Ivoire. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1), 103-111.
- Bouih, N., Khouchani, M., Mazouzi, A., Jouhadi, H., Acharki, A., Sahraoui, S., & Benider, A. (2004). Concomitant chemoradiotherapy in the esophagus carcinomas. *Cancer Radiotherapie*, 8(1), S139.
- Calamari, D., & Naeve, H. (1994). *Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain* (Vol. 25). Food & Agriculture Org.
- carole. (2022, février 10). *L'impact des pesticides sur l'environnement—ABGi*. <https://abgi-france.com/impact-des-pesticides-sur-environnement/>, <https://abgi-france.com/impact-des-pesticides-sur-environnement/>
- Caron, L., Ou, Z. Q., Nguyen, T. T., Thanh, D. C., Tegus, O., & Brück, E. (2009). On the determination of the magnetic entropy change in materials with first-order transitions. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321(21), 3559-3566.
- CHERIFI, A., & MEKHISSI, M. E. M. (2022). *Contribution à l'évaluation de la pollution marine par les métaux lourds chez les algues (cas de Bouzadger) Wilaya de Ain Temouchent*. <https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/handle/123456789/1562>
- Chinetti-Gbaguidi, G., Baron, M., Bouhlel, M. A., Vanhoutte, J., Copin, C., Sebti, Y., Derudas, B., Mayi, T., Bories, G., Tailleux, A., Haulon, S., Zawadzki, C., Jude, B., & Staels, B. (2011).

- Human Atherosclerotic Plaque Alternative Macrophages Display Low Cholesterol Handling but High Phagocytosis Because of Distinct Activities of the PPAR γ and LXR α Pathways. *Circulation Research*, 108(8), 985-995. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.233775>
- Chouba, L. (2006). Les Metaux Traces(Cd, Pb, Hg) et les Hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la France Côtière du Golfe . 33.
- Chouti, W. (2011). *Etude de la pollution chimique d'une lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) : Cas de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin)* [PhD Thesis]. Thèse de doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi au Bénin.
- Chouti, W. K., Agonzan, S., Tometion, L. A., & Mamam, D. (2017). Étude de la spéciation chimique du plomb dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo, Sud Bénin. *Afrique SCIENCE*, 13(3), Article 3.
- Coulibaly, N. D., & Ouedraogo, A. (2022). Evaluation de la teneur en métaux lourds dans les tissus hépatique et musculaire du tilapia du Nil, et du poisson-chat africain dans la pêche de Nagbangre au Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 41(2(1)), Article 2(1).
- Dione, C. T. (2022). *Détermination de la teneur des polluants organiques et des métaux lourds dans les poissons provenant des baies de la côte de Dakar (Soumbédioune et Hann)* [PhD Thesis, Université de Strasbourg; Université Cheikh Anta Diop (Dakar)]. <https://theses.hal.science/tel-04121735/>
- Dovonou, F. (2008). Pollution des plans d'eau au Bénin, mémoire de DEA en Environnement. *Santé et Développement*, 58p.
- Dovonou, F., Aina, M., Boukari, M., & Alassane, A. (2011). Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : Cas du lac Nokoue au Sud Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(4), Article 4. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i4.23>
- Dovonou, F. E., Ibikounle, M., Akouedegni, C. G., Aissi, V., Dossou, M. P., & Mama, D. (2019). Impacts des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les poissons : Cas des tilapias du lac Nokoué au Sud du Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific J*, 36, 458-474.
- El Morhit, M., Belghity, D., & El Morhit, A. (2013). Contamination métallique de Pagellus acarne,

- Sardina pilchardus et Diplodus vulgaris de la côte atlantique sud (Maroc). *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, 14.
- <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/14>
- <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/14>
- Goura, S. O. (2023). Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inferieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zagnanado Et Sagon | Goura | *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/view/5727>
- Goussanou, A., Youssao, A. K. A., Dagan, S. B., & Youssao, A. K. I. (2018). Bioaccumulation Des Métaux Lourds (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) Par Les Crabes Cardisoma Armatum (Herklots, 1851) Dans Le Complexe «lac Nokoué-Lagune de Porto—Novo» Au Sud Bénin. *Afr. Sci*, 14, 255-266.
- Harte et al., 1991 ; Schuurmann et Markert, 1998—Recherche Google. (s. d.). Consulté 31 mars 2024, WUyBggAEEUYOdIBCTIyOTMzajBqNKgCALACAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Hekpazo, P. M., Hounkpatin, A. S. Y., Dougnon, V. T., Boni, G. E., Pognon, E., & Johnson, R. C. (2020). Évaluation de la contamination métallique (plomb, cadmium et arsenic) et analyse de risques toxicologiques à Houin Logbo (lac Toho) dans la commune de Lokossa au sud-ouest du Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin*, 30, 54-64.
- Hoteyi, S. M. I., Gnimadi, C. C., Adjadj, G. V., Igoué, A. M., & Mensah, G. A. (2014). Analyse des risques de consommation des eaux en sachet pour les populations dans ville de Porto-Novo au Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 8.
- Hounkpatin et al.2012. (s. d.).
- Hounkpè, J. B., Kelome, N. C., Lawani, R. A. N., & Adechina, A. (2017). status of aquatic ecosystem pollution in benin (west africa). *larhyss Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, 30, Article 30.
- Kaki, R., Elligsen, M., Walker, S., Simor, A., Palmay, L., & Daneman, N. (2011). Impact of antimicrobial stewardship in critical care : A systematic review. *Journal of antimicrobial chemotherapy*, 66(6), 1223-1230.

- Karikari, A. Y., & Ansa-Asare, O. D. (2006). Physico-chemical and microbial water quality assessment of Densu River of Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*, 10(1).
<https://www.ajol.info/index.php/wajae/article/view/45701>
- Kayalto, B., & Mbofung, C. M. (2009). *contribution a l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac tchad*. [PhD Thesis, ENSAI-Université de Ngaoundéré, Cameroun]. <https://auf.hal.science/hal-00825482/document>
- Kpiagou, P., Tchegueni, S., Boguido, G., Sama, D., Gnandi, K., Tchacondo, T., & Glitho, A. I. (2022). Evaluation de la pollution des ressources en eau du bassin versant de Didagou (Dapaong, Nord-Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(1), 481-497.
- Laleye, P., Chikou, A., Philippart, J.-C., Teugels, G., & Vandewalle, P. (2004). Etude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybiuim*, 28(4), Article 4. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/241338>
- Lawani, A. N., Kelome, N. C., TCHIBOZO, M. A. D., Hounkpe, J. B., & Adjagodo, A. (2017). Effects of agricultural practices on the pollution of surface water in Benin Republic. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, 30, Article 30.
- Lévêque, C., & Paugy, D. (1999). Impacts des activités humaines. *Les poissons des eaux continentales africaines, Diversité, Ecologie, Utilisation par l'homme*. Edition IRD, Paris, 365-383.
- Mama, D. (2010). *Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin)* [PhD Thesis, Limoges]. <https://theses.fr/2010LIMO4015>
- Manou, B. E., Sohounnon, M., Dovonou, F., Koumolou, L., & EDORH, P. A. (2020a). 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), 292-302.
- Marchand, M., & Abarnou, A. (1990). *Les polychlorobiphényles (PCB) en milieu marin : Biogéochimie et écotoxicologie*. 155.
- Martin Pépin, a., degila, h., chikou, a., adjahatode, f., & matejka, g. (2012). risk of intoxication by heavy metals (pb, cd, cu, hg) connected to the consumption of some halieutic species in lake nokoue : case of the penaeus shrimps and the sarotherodon melanotheron. *risk*, 5(1), Article 1.

https://www.academia.edu/download/77134767/BSVol.5_201_20Article_2011.pdf

Mègnon, G. T., Soumanou, M. M., Tossou, S., & Mensah, G. A. (2012). Evaluation de la qualité sanitaire des crevettes (*Penaeus* sp) du Lac Nokoué au Sud-Bénin : Aspects chimique et microbiologique. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, Numéro spécial Elevages de gibier & non gibier*, 24-30.

Mémoire VODOUGNON 2015 Correction Last.pdf. (s. d.).

Messahli, I., Saidani, A., Salmi, L., & Benhamada, O. E. (2020). *Effets toxiques des métaux lourds sur les microalgues aquatiques* [PhD Thesis, Université de Jijel]. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/7807>

Naeem, M. A., Karim, S., Abrar, A., Yarovaya, L., & Shah, A. A. (2023). Non-linear relationship between oil and cryptocurrencies : Evidence from returns and shocks. *International Review of Financial Analysis*, 89, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102769>

Nathanaelle. (2018, juin 27). *Pesticides : La santé des consommateurs en danger*. Fondation pour la Nature et l'Homme. <https://www.fnh.org/pesticides-la-sante-des-consommateurs-en-danger/>

Nauen, R. (2006). *Insecticide mode of action : Return of the ryanodine receptor*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20063152293>

Niyonkuru, C., Lalèyè, A. P., Villanueva, C. M., & Moreau, J. (2007). Population parameters of main fish species of lake Nokoué, Bénin (West Africa). *Journal of Afrotropical Zoology*, 3, 149-155.

Obi-Jeff, C., Garcia, C., Onuoha, O., Adewumi, F., David, W., Bamiduro, T., Aliyu, A. B., Labrique, A., & Wonodi, C. (2021). Designing an SMS reminder intervention to improve vaccination uptake in Northern Nigeria : A qualitative study. *BMC Health Services Research*, 21(1), 844. <https://doi.org/10.1186/s12913-021-06728-2>

Okoumassoun, L.-E., Averill-Bates, D., Gagné, F., Marion, M., & Denizeau, F. (2002). Assessing the estrogenic potential of organochlorine pesticides in primary cultures of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes using vitellogenin as a biomarker. *Toxicology*, 178(3), 193-207.

Ouattara, T., Kouamé, F., Casimir, Z.-B., Vaudry, R., & Grinand, C. (2021). Changements

- d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : Impact des cultures de rente sur la forêt. *Bois & Forêts Des Tropiques*, 347, 91-106.
- Oumar, B., Ekenguele, N. L., & Balla, O. A. D. (2014). Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 10(2), Article 2.
<https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/109662>
- Ouro-Sama, K., Solitoke, H. D., Gnandi, K., Afiademanyo, K. M., & Bowessidjaou, E. J. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(2), Article 2. <https://journals.openedition.org/vertigo/15093>
- Rajab, A. J. A. (2007). *Impact sur l'environnement d'un herbicide non sélectif, le glyphosate : Approche modélisée en conditions contrôlées et naturelles*. 169.
- Richards, S., Gibbs, R. A., Weinstock, G. M., Brown, S. J., Denell, R., Beeman, R. W., Gibbs, R., Bucher, G., Friedrich, M., & Grimmelikhuijzen, Cj. (2008). The genome of the model beetle and pest *Tribolium castaneum*. *Nature*, 452(7190), 949-955.
- Sabrina, M. (2017). *Evaluation de la toxicité de deux métaux lourds (Cadmium et Zinc) sur le métabolisme énergétique (Respiratoire et Photosynthétique) d'une plante aquatique «Elodea canadensis»* [PhD Thesis, Université d'Oran]. <https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2017/11/These-Zouainia-Sabrina.pdf>
- Saizonou 1, J., Agueh 1, D. V., Aguemou 2, B., Mongbo Adé 1, V., Assavedo 3, S., & Makoutodé 1, M. (2014). Évaluation de la qualité des services de consultation prénatale recentrée à l'hôpital de district de Suru-Léré au Bénin. *Santé publique*, 2, 249-257.
- Samia, A., & Emam, A. S. (2024). *ARTICLE INFO ABSTRACT*.
https://journals.ekb.eg/article_303529.html
- Sanou, A., Coulibaly, S., & Atse, B. C. (2020). Évaluation de la capacité de fixation des métaux lourds par les sédiments d'une ferme piscicole en étang. *Afrique Science*, 16(4), 85-97.
- Simard, H. (2022, mai 6). Réduire les pesticides : Quels effets sur l'écosystème ? *INRS*.
<https://inrs.ca/actualites/reduire-les-pesticides-quels-effets-sur-lecosysteme/>

- Solomon, K., & Thompson, D. (2003). Ecological Risk Assessment for Aquatic Organisms from Over-Water Uses of Glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 6(3), 289-324. <https://doi.org/10.1080/10937400306468>
- Tchokponhoue Kpodekon, M., Boko, K. C., Mainil, J., Farougou, S., Sessou, P., Yehouenou, B., Gbenou, J., Duprez, J.-N., & Bardiau, M. (2013). Composition chimique et test d'efficacité in vitro des huiles essentielles extraites de feuilles fraîches du basilic commun (*Ocimum basilicum*) et du basilic tropical (*Ocimum gratissimum*) sur *Salmonella enterica* sérotype Oakland et *Salmonella enterica* sérotype Legon. *Journal de la Société ouest-africaine de chimie*, 35. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/169262/1/SOACHIM.pdf>
- Thorat, S. A., Kaniyassery, A., Poojari, P., Rangel, M., Tantry, S., Kiran, K. R., Joshi, M. B., Rai, P. S., Botha, A.-M., & Muthusamy, A. (2022). Differential gene expression and withanolides biosynthesis during in vitro and ex vitro growth of *Withania somnifera* (L.) Dunal. *Frontiers in Plant Science*, 13, 917770.
- Veena, P., Cornetta, K., Davidson, A., Agüero, B., McMahon, J., Traycoff, C. M., & Srour, E. F. (1997). Preferential sequestration in vitro of BCR/ABL negative hematopoietic progenitor cells among cytokine nonresponsive CML marrow CD34+ cells. *Bone marrow transplantation*, 19(12), 1213-1221.
- Yehouenou, E. A. P., Adamou, R., Azehoun, P. J., Edorh, P. A., & Ahoyo, T. (2013). Monitoring of Heavy Metals in the complex" Nokoué lake-Cotonou and Porto-Novo lagoon" ecosystem during three years in the Republic of Benin. *Research Journal of Chemical Sciences* ISSN, 2231, 606X.
- Yèhouénou, E., & Pazou, E. (2005). *Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué* [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat unique: Université d'Abomey-Calavi, 217p.
- Youssao, A., Soclo, H. H., Bonou, C., & Fayomi, B. (2011). Evaluation de la bioaccumulation du plomb dans les espèces animales marines et identification des sources de contamination métallique par une analyse multiélémentaire en métaux (Al, Cd, Cr, Cu, Pb) dans les eaux côtières du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(1), Article 1.

<https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/68097>

Zerrouqi, Z., Sbaa, M., Chafi, A., & Aqil, H. (2013). Contribution à l'étude de la qualité des eaux de la lagune de Nador : Impact de l'anthropisation. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 35, 51-59.

Zoffoun, Y. S. T., & Dassi, E. (2019). *Évaluation de la contamination au mercure des sédiments et répartition des huîtres dans le complexe lagunaire chenal de Cotonou-lac Nokoué au Bénin.*

EPAC/UAC. <https://biblionumeric.epac-uac.org:9443/jspui/handle/123456789/4144>

ANNEXES

Les types d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de polychlorobiphényles dosés dans l'eau (HAP Eau) et dans le sédiment (HAP sédiment) dans cette étude.

[illegible]

HAP Sediment	Agbato	Godomey	Zogbo	Ekpè	Ganvié 2	Vêkky	Aguégué	So-Ava	Totchè	Ganvié 1
Naphthalene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acenaphthylene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acenaphthene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fluorene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Phenanthrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Anthracene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fluoranthene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[c]phenanthrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benz(a)anthracene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Chrysene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[k]fluoranthene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[b+j]fluoranthene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3-Methylcholanthrene sed	0,124	0,118	0,112	0,097	0,129	0,121	0,127	0,131	0,139	0,133
Indeno[1,2,3-cd]pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dibenzo[a,h]anthracene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[ghi]perylene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dibenzo[a,h]pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dibenzo[a,i]pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dibenzo[a,l]pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[e]pyrene sed	0,021	0,019	0,022	0,021	0,022	0,021	0,022	0,019	0,022	0,024
Benzo[a]pyrene sed	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

PCB Eau	Agbato	Godomey	Zogbo	Ekpè	Ganvié 2	Vêkky	Aguégué	So-Ava	Totchè	Ganvié 1
2,2',5-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Evaluation de la pollution en éléments traces métalliques, pesticides et aux hydrocarbures de des matrices eau et sédiments du lac Nokoué

2,4,4' + 2,4,5-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3,3'-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',5,5'-Tetrachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,5'-Tetrachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3,3',4,4'- Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4',5',6-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3',4,4',5-Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',4,4',5,5'-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',4,5,5'-Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4,4',5'-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4,4',5,5'-Heptachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,3',4,4',5-Heptachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PCB Sediment	Agbato	Godomey	Zogbo	Ekpè	Ganvié 2	Vèkky	Aguégué	So-Ava	Totchè	Ganvié 1
2,2',5-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,4,4' + 2,4,5-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3,3'-Trichloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',5,5'-Tetrachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,5'-Tetrachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3,3',4,4'- Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4',5',6-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3',4,4',5-Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',4,4',5,5'-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',4,5,5'-Pentachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4,4',5'-Hexachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,4,4',5,5'-Heptachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,3',4,4',5-Heptachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachloro-1,1'-biphenyl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00