

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

Prudencio AGBOHESSI¹, Léa GUEDEGBA¹, Rodrigue PELEBE¹, Ibrahim IMOROU TOKO¹

(Reçu le 26/06/2023; Accepté le 05/07/2023)

Résumé

Le lac Nokoué (Sud Bénin) est la pêcherie continentale la plus productive de l'Afrique de l'Ouest avec une très forte biodiversité, mais qui malheureusement il perd progressivement ses ressources à cause de sa pollution. Dans la présente étude, nous avons utilisé l'approche bibliographique pour évaluer le degré d'exposition de la faune de ce biotope. Ainsi, ce lac présente une forte pollution organique avec un état hyper-eutrophe. Les analyses de germes bactériologiques indiquent une forte pollution fécale susceptible d'influencer le système immunitaire des organismes exposés. Le lac reçoit les métaux toxiques (plomb, cadmium, mercure, etc), les pesticides (endosulfan, DDT, etc) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (naphtalènes, fluorènes, etc). Certains polluants chimiques comme les détergents industriels, les polychlorobiphényles, les dioxines et produits dérivés sont aussi suspectés dans cet écosystème, mais aucune étude n'a encore été initiée pour montrer leur présence. Tous ces polluants chimiques sont lipophiles et persistants, reprotoxiques, hépatotoxiques et inhibent la croissance de la faune aquatique. La plupart sont des perturbateurs endocriniens oestrogéniques qui exercent une menace sur la survie des espèces. La bioaccumulation des polluants dans les produits halieutiques du lac à des concentrations dépassant parfois les normes internationales admises, expose les consommateurs et pose un problème sérieux de santé publique.

Mots clés: Pollutions, lac Nokoué, faune aquatique, extinction des espèces

Exposure of fish fauna and other animals to organic, chemical and biological pollutants in Lake Nokoué in southern Benin: Literature review

Abstract

Lake Nokoué (South of Benin) is the most productive continental fisheries in West Africa with very strong biodiversity, but is gradually losing its resources because of pollution. In this study, we assessed the level of exposure of the fauna of this biotope. This lake has strong organic pollution with a hyper-eutrophic state. Analyses of bacteriological germs indicate a strong fecal pollution capable of influencing the immune system of exposed organisms. The lake receives toxic metals (lead, cadmium, mercury, etc.), pesticides (endosulfan, DDT, etc), polycyclic aromatic hydrocarbons (naphthenes, fluorens, etc). Certain chemical pollutants such as industrial detergents, polychlorobiphenyls, dioxins and derivative products are also suspected in this lake, but no study has yet been initiated to show their presence. All these chemical pollutants are lipophilic and persistent, reprotoxic, hepatotoxic and inhibit the growth of aquatic fauna. Most are estrogenic endocrine disruptors which exert a threat to species survival. The bioaccumulation of pollutants in fishery products of the lake at concentrations sometimes exceeding international standards, exposes consumers and poses a serious public health problem.

Keywords: Pollution, lake Nokoué, aquatic fauna, species extinction

INTRODUCTION

Au Bénin, les pêcheries continentales contribuent pour environ 75 à 80% à la production halieutique nationale et participent pour près de 31% à la consommation nationale de protéines animales (Rurangwa *et al.*, 2014). Le complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo, classé site RAMSAR (1018), est le plus important plan d'eau continental du point de vue de son étendue, de sa productivité et de son exploitation (Yehouénou *et al.*, 2013). La biodiversité de ce complexe est très élevée, avec une grande diversité de poissons, mollusques, crustacés, oiseaux et amphibiens (Villanueva *et al.*, 2006). Le lac Nokoué est le lac le plus productif de l'Afrique de l'Ouest avec une production annuelle en poisson de plus de 1 à 2 T/ha (Lalève *et al.*, 2003) contre une moyenne annuelle de 290 kg/ha pour l'ensemble des lagunes ouest-africaines (Issola *et al.*, 2008). En l'an 2000, la production halieutique du complexe lagunaire lac Nokoué - lagune de Porto-Novo représentait 65 à 70% de la production des eaux continentales du Bénin et le lac Nokoué y contribue pour près de 90% (Yehouénou *et al.*, 2013). Malheureusement, ces ressources ont connu aujourd'hui une forte diminution à cause de la pollution avancée de ce cours

d'eau. Par exemple, dans leur inventaire destiné à identifier les espèces menacées de disparition, Lalève *et al.* (1997) ont recensé 67 espèces alors que Gras (1961) en avait recensé 87. Une différence de 20 espèces en 36 ans qui montre clairement une érosion de la biodiversité pour laquelle l'une des causes majeures est la pollution. En effet, plusieurs auteurs (Clédjo, 1999; Youssao *et al.*, 2011; Yehouénou *et al.*, 2013; Saizonnou *et al.*, 2014) ont montré la pression que subit le lac Nokoué qui reçoit à lui seul les déchets solides et liquides des populations environnantes et des usagers du marché Dantokpa, les effluents urbains venant de la ville de Cotonou, de Calavi et de So-ava, les effluents agricoles contenant des pesticides drainés de la zone cotonnière du Nord Bénin par le fleuve Ouémé ou venant des zones agricoles environnant le cours d'eau, les effluents industriels et hospitaliers venant de la ville de Cotonou, des produits pétroliers (essence, pétrole, gasoil, huile à moteur) provenant du trafic sur ce cours d'eau, etc. Tous ces effluents libèrent divers types de polluants dans ce cours d'eau. Cet article vise à faire le bilan à travers une revue de littérature, des différents polluants que reçoivent le lac Nokoué et les conséquences éventuelles sur les poissons et autres organismes animaux de ce plan d'eau.

¹ Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

PRÉSENTATION DU LAC NOKOUE

Compris entre les parallèles 6° 20' et 6° 30' Nord, les méridiens 2° 20' et 2° 35' Est, le lac Nokoué (Figure 1) s'étend sur 20 km d'Est en Ouest et 11 km du Nord-Sud; il couvre ainsi une superficie d'environ 160 km² en période de hautes eaux (Clédjo, 1999). Ce lac forme avec la lagune de Porto-Novo, la plus importante superficie d'eaux saumâtres du Bénin (Lalèye, 1995). D'une profondeur comprise entre 0,4 et 3,4 m, le lac Nokoué est directement relié à l'Océan Atlantique par le chenal ou lagune de Cotonou sur une longueur de 4,5 km avec une largeur de 300 m environ. La lagune de Porto-Novo, beaucoup moins étendue (35 km²), communique à l'Ouest avec le lac Nokoué par l'intermédiaire du canal Totchè, long de 5 km et d'une largeur de 200 à 300 m environ, et à l'Est avec la lagune de Lagos (Nigéria) par un canal de près de 100 km de long et 20 à 50 m de large (Gnohossou, 2006).

Le complexe lac Nokoué - lagune de Cotonou bénéficie d'un climat subéquatorial caractéristique du sud-Bénin : deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Le régime hydrographique est caractérisé par une période de crue, qui s'étend théoriquement de septembre à décembre et une période d'étiage, qui s'étend de décembre à juillet (Tossou, 2001). Les principaux cours d'eau qui alimentent ce complexe sont le fleuve Ouémé et la rivière Sô, qui fonctionnent comme un système de vases communicants (complexe Ouémé-Sô). Ces cours d'eau sont responsables de la montée des eaux. Pendant la crue, l'eau du complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo est douce. La durée des crues varie suivant que le chenal de Cotonou est fermé ou ouvert et selon l'importance des pluies (Gnohossou, 2006). En période d'étiage on observe une intrusion massive de l'eau de mer surtout pendant les hautes marées, ce qui rend l'eau du complexe lac Nokoué - lagune de Porto-Novo saumâtre.

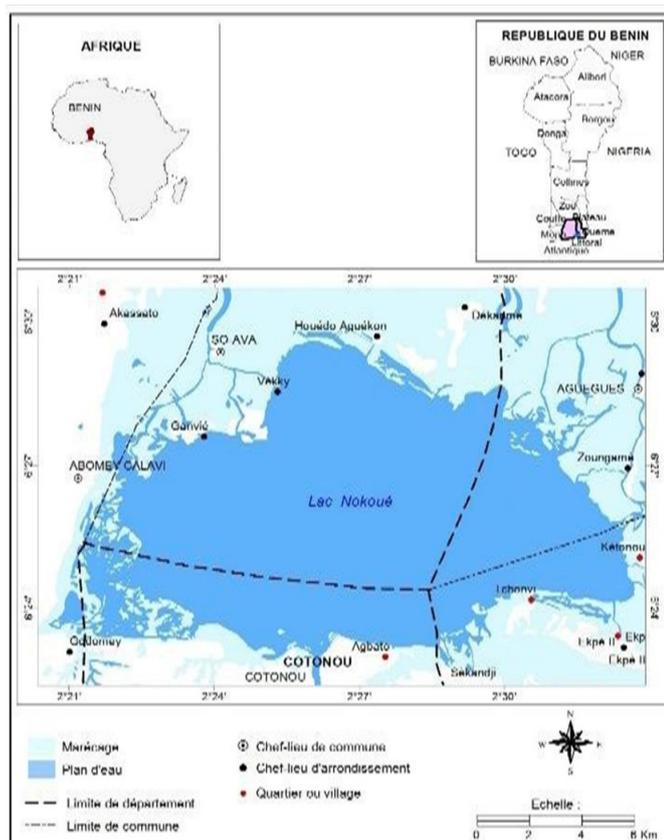


Figure 1: Situation géographique du lac Nokoué

Autour du lac Nokoué l'agriculture est très diversifiée et occupe plus de 80% de la population locale active. En dehors du maraîchage très consommateur d'engrais et de pesticides chimiques, pratiqué dans certains endroits le long du complexe lac Nokoué- lagune de Porto-Novo, les principales cultures pratiquées sont entre autres: le maïs, l'igname, le manioc, le haricot et surtout le niébé cultivé en période de décrue. L'élevage dominant est celui des porcins avec des volailles tant pour la vente que pour l'autoconsommation. Le secteur industriel est constitué des industries agro-alimentaires, de textiles, de papeteries et des matériaux de construction (Gnohossou, 2006). Le commerce est la deuxième activité autour du lac Nokoué. Ce commerce se fait majoritairement dans le marché Dantokpa le plus grand marché du Bénin et le marché principal de la commune d'Abomey-Calavi, situés tous à proximité du lac Nokoué (Gnohossou, 2006). La proximité du Nigéria avec le Bénin favorise également le trafic de produits pétroliers (essence, gasoil, huile à moteur, pétrole) sur ce cours d'eau (Dovonou, 2008).

La pêche est très pratiquée sur le lac Nokoué. Plusieurs engins et techniques de pêche sont utilisés: les "acadjas", les "whédos", les filets (éperviers, maillants ou dormants), les lignes à hameçons individuels ou multiples (palangres), les barrages et les nasses-pièges, etc (Lalèye *et al.*, 2003). L'abondance et la diversité de la faune ichthyologique du lac Nokoué varient selon les saisons mais aussi en relation avec l'entrée d'eau marine dans le lac. Selon Gnohossou (2006) nous avons:

- Les espèces littorales euryhalines marines qui sont saisonnières ou accidentelles dans les lagunes (*Elops lacerta*, *Cynoglossus senegalensis*, *Citharichthys stampflii*, *Eucinostomus melanopterus*, *Lutjanus goreensis*);
- Les espèces estuariennes d'origine marine (*Ethmalosa fimbriata*);
- Les espèces estuariennes d'origine continentale (*Chrysichthys nigrodigitatus*, *Chrysichthys auratus*, *Hemichromis fasciatus*);
- Les espèces d'eau douce qui n'apparaissent que lorsque la salinité tend vers 0 (*Clarias gariepinus*, *Synodontis schall*, *Schilbe intermedius*).

Lalèye *et al.* (2003) ont recensé sur le lac Nokoué 51 espèces appartenant à 47 genres, 34 familles et 10 ordres. Onze espèces sur les 51 représentent 89,5% de l'abondance numérique totale. De l'étude de ces auteurs, il ressort que *Ethmalosa fimbriata* est l'espèce de poisson la plus abondante du lac Nokoué (40%) suivie de *Sarotherodon melanotheron* (15%). L'une des espèces de poisson les moins abondantes, est *Gobionellus occidentalis* (0,5%).

Le zoobenthos du lac Nokoué est constitué des mollusques tels que: *Corbula trigona*, *Anadala senilis*, *Crassostrea gasar*, *Tempanotonus* sp et *Pachymelania* sp. (Maslin et Bouvet, 1986); et des crustacés comme: *Goniopsys cruentata*, *Cardiosoma amatum* et *Cliberhardius africanus* (Adandédjan *et al.*, 2017).

La lagune Nokoué apparaît donc comme une lagune semi-fermée mais dont les ressources vivantes sont très soumises à la pollution organique, la pollution chimique et la pollution bactériologique, dues principalement aux activités humaines littorales.

INVENTAIRE ET CARACTÉRISATION DES DIFFÉRENTS POLLUANTS DU LAC NOKOUE

Plusieurs études (Youssao *et al.*, 2011; Yehouénou *et al.*, 2013; Saizonou *et al.*, 2014; Adjagodo *et al.*, 2016) ont inventorié les sources de pollution du lac Nokoué. Il s'agit des:

- Déversements de produits pétroliers dans le lac;
- Déversements quotidiens de branchages d'acadja;
- Décharges d'ordures ménagères et biomédicales en bordure du plan d'eau;
- Rejets des collecteurs d'évacuation d'eaux pluviales et usées domestiques en provenance de la ville de Cotonou et Calavi sans aucun traitement préalable;
- Apports du fleuve Ouémé transportant des résidus de pesticides agricoles;
- Rejets de matières fécales d'origines humaines et animales; et
- Rejets de déchets ménagers (ordures) dans le lac par les populations lacustres.

Déversements des produits pétroliers

La proximité du Nigéria avec le Bénin favorise le trafic frauduleux de produits pétroliers (essence, gasoil, huile à moteur, pétrole) qui est l'une des activités caractéristiques menées sur le lac Nokoué et certains commerçants n'hésitent pas à renverser et à cacher des bidons remplis de ces produits dans le cours d'eau à la vue des forces de l'ordre pour échapper au contrôle (Hoteyi, 2014). Lors des transports, des déversements volontaires se font pour équilibrer les barques surchargées afin d'éviter les naufrages ou bien pour diminuer la charge dans le but d'échapper aux poursuites douanières. Quant aux déversements accidentels, ils sont 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). Le lac Nokoué sert également de lieu d'entreposage et de conservation des bidons remplis de produits pétroliers pendant des jours et des mois. Cette situation entraîne le déversement massif de ces produits dans l'eau (Dovonou *et al.*, 2011). Aussi, l'utilisation des barques motorisées sur le lac Nokoué et l'important trafic routier sur les trois ponts érigés sur le chenal de Cotonou sont également des sources non moins importantes de déversement de produits pétroliers dans le lac Nokoué (Hoteyi, 2014). Plusieurs études (Dovonou, 2008; Dovonou *et al.*, 2019) ont également montré que des huiles de vidange des moteurs de barques motorisées sont régulièrement versées dans le cours d'eau. Ces produits pétroliers contiennent diverses sortes de polluants. On peut citer entre autres les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pétrogéniques dont les plus redoutables sont le benzo(a)pyrène, le benzo(k)fluoranthène et le benzo(ghi)pérylène (Dovonou *et al.*, 2019), le plomb organique, le mercure, le soufre, les radionucléides, etc (Bawa *et al.*, 2005).

Déversements de branchages d'«acadja»

Les «acadjas» sont des pêcheries en branchages, une sorte de vaste récif artificiel, formé d'amas de branchages implanté en lagune dans des zones peu profondes. C'est des concentrations de branchages fixés dans la vase par

une extrémité, ou simplement posés dans le fond, dans les eaux dont la profondeur à l'étiage varie de 80 à 140 cm (Buffe, 1958). Les poissons s'y rassemblent et y sont facilement capturés, après que l'acadja ait été entouré par un filet ou par des barrières en claies. Les «acadjas» couvrent une superficie de plus de 9 000 ha sur les 15 000 ha du lac Nokoué avec des productions en poissons variant de 4 à 20 T/ha/an (Dovonou, 2008). Cependant, l'exploitation excessive des espaces lagunaires par l'acadja entraîne des effets néfastes sur l'environnement dont le défrichage des forêts, l'érosion des berges et surtout la pollution organique de la lagune et les risques écotoxicologiques sont liés aux réactions chimiques produites lors de leur décomposition (Dovonou, 2008). Cette décomposition engendre entre autres des taux d'oxygène dissout faibles avec une production primaire très faible, un potentiel redox négatif, une élévation de l'ammonium et des sulfates, la présence continue des nitrates et des nitrites (Bankolé et Olou, 2000).

Décharges d'ordures ménagères et biomédicales

Le lac Nokoué reçoit directement les ordures ménagères provenant des populations lacustres vivant dans des habitations sur pilotis sur le cours d'eau (Sô-Tchanhoué, Sô-Zounko, Ganvié, Sô-Ava, etc) ou en bordure (Djidjè, Ahouansori, Gbèdjromédé, etc) et des ordures provenant du marché de l'arrondissement central d'Abomey-Calavi et surtout du marché Dantokpa, le plus grand marché du Bénin (Satchi *et al.*, 2016). Il s'agit des déchets solides et liquides constitués entre autres de piles usagées, des déchets de cuisine, des déjections animales et humaines, de l'eau de javel, des lotions, du shampoing, des solvants de toutes natures, des huiles de vidange, etc (Adjagodo *et al.*, 2016). Ce cours d'eau reçoit également des déchets biomédicaux des hôpitaux et cliniques basés dans les villages lacustres et surtout des hôpitaux situés à Cotonou mais qui bordent le cours d'eau comme l'hôpital de la mère et de l'enfant (Bankolé et Olou, 2000). Il s'agit des déchets solides et liquides hospitaliers constitués des produits toxiques liés à la radiologie, aux laboratoires d'analyses, des déchets liés aux dentistes, les médicaments inutilisés, les thermomètres cassés, etc (Adjagodo *et al.*, 2016). Ces différents types de déchets engendrent une pollution organique, chimique et bactériologique du lac. La pollution chimique est la libération, entre autres, des éléments toxiques chimiques tels que les métaux toxiques comme le mercure issu des thermomètres cassés, le plomb et le cuivre issus des piles usagées, le cadmium, le zinc, etc, et d'autres polluants chimiques comme les dioxines et les alkylphenols polyéthoxylates contenus dans les déchets biomédicaux ou dans les lotions et shampoing. La pollution bactériologique, c'est le développement des germes bactériologiques comme les coliformes, les streptocoques, etc, issus de la décomposition des déjections animales et humaines, des restes d'aliments, etc (Dovonou *et al.*, 2011).

Rejets des collecteurs d'évacuation d'eaux pluviales et usées domestiques

Le lac Nokoué reçoit par l'intermédiaire du chenal de Cotonou une importante quantité d'eaux usées domestiques et d'eaux de ruissellement de nombreux quartiers de Cotonou et d'Abomey-Calavi. Ces eaux s'y déversent sans aucun traitement par le biais de nombreux ouvrages d'évacuation d'eaux usées (Saizonou *et al.*, 2014). Aussi, le

secteur industriel dans la commune de Sô-Ava et autour du lac Nokoué est constitué des industries agro-alimentaires, de textiles, de papeteries et des matériaux de construction. Plus de 80% des unités industrielles du Bénin sont installées dans la zone côtière notamment la Société Béninoise de Brasserie (SOBEBRA), la Société Nationale pour l'Industrie des Corps Gras (SONICOG), la Société Béninoise de Textile (SOBETEX), la Société Béninoise de Peinture et Colorants (SOBEPEC), la Société des Ciments du Bénin (SCB) etc, et participent à la pollution des eaux le long de la côte (Hounkpè *et al.*, 2017, Agbandou *et al.*, 2018). Comme polluants déversés encore dans cet écosystème aquatique, on peut citer les effluents provenant des ateliers de coiffure, des garages automobiles, des ateliers de teinturerie, de blanchisserie, l'eau provenant des routes goudronnées après la pluie, etc. Ce lac reçoit quelques fois des boues de vidanges des fosses septiques des maisons de Cotonou, de Calavi et de Sô-ava. On note ici également des colorants, des lotions, des solvants, des shampoings et détergents notamment les alkylphénols polyéthoxylates comme l'octylphénol et le nonylphénol, les matières plastiques et les micropolluants industriels comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (naphtalène, acenaphtène, fluoranthène, etc), les polychlorobiphényles (PCB), les dioxines et produits dérivés (Tossou, 2001; Dovonou *et al.*, 2019). On retient aussi les pesticides contenus dans les effluents de maraîchage notamment les organochlorés, les organophosphorés, etc, mais surtout les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le

mercure, l'arsenic, le zinc, le cuivre, etc, (Youssao *et al.*, 2011). Plusieurs de ces divers polluants sont également des sources de sels nutritifs notamment azotés, phosphatés et d'oligo-éléments (Saizonou *et al.*, 2014).

Rejets des résidus de pesticides par le fleuve Ouémé

Le fleuve Ouémé est le plus long fleuve du Bénin (510 km²). Prenant sa source au nord dans les massifs de l'Atacora, ce fleuve traverse tout le pays et se jette dans l'Océan Atlantique en passant par le lac Nokoué et le chenal de Cotonou (Yéhouéno, 2005). Dans son parcours, des études (Okoumassoun *et al.*, 2002; Yéhouéno, 2005; Agbohessi *et al.*, 2012; Yéhouéno *et al.*, 2013) ont rapporté que ce fleuve draine pendant la crue des résidus de pesticides-coton des bassins cotonniers du nord et du centre Bénin vers ces cours d'eau du sud dont le lac Nokoué.

TENEURS EN DIFFÉRENTS POLLUANTS DU LAC NOKOUE ET CONSÉQUENCES POUR LES RESSOURCES ANIMALES

Pollution organique

Le tableau 1 indique quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Nokoué obtenues dans la littérature, quelle que soit la saison. Ce tableau montre que l'eau du lac Nokoué est légèrement acide à neutre. Les valeurs de pH sont semblables à celles obtenues par Issola *et al.* (2008) dans les eaux de la lagune Fresco en

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques des eaux du lac Nokoué

Paramètres	Valeurs	Références
Oxygène dissous (mg/l)	2,76 – 3,62	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	4,28 – 4,85	Vodougnon (2015)
	3,94 – 5,69	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	3,93 6,31	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	4,2 – 4,6	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
pH	6,6 – 7,5	Mama <i>et al.</i> (2011)
	6,78 – 7,57	Vodougnon (2015)
	5,75 – 7,78	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	6,73 – 7,67	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	5,8 – 6,0	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions ammonium (mg/l)	>8,0	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	0,01 – 1,89	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	5,2 – 30,0	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions nitrates (mg/l)	0,56 – 17,7	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	105 - 200	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
Ions nitrites (mg/l)	0,7	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	0 – 2,64	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	0,2 – 0,9	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
DCO (mg/l)	257	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	182 - 450	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
	407	Vodougnon (2015); Agbandou <i>et al.</i> (2018)
DBO ₅ (mg/l O ₂)	10 - 29	Dovonou <i>et al.</i> (2011)
	14 - 35	Mama <i>et al.</i> (2011)
	7,96 – 31,2	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	28,1 – 33,2	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
	55	Vodougnon (2015)
Ions phosphates (mg/l)	0,01 – 1,89	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	0,6 – 0,8	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)
IPO	2 – 3,75	Capo-chichi <i>et al.</i> (2022)
	1,33	Agbohessi <i>et al.</i> (2023)

Côte d'Ivoire (7,42 – 7,60) mais légèrement différents des pH des eaux du lac Zarivar en Iran (7,28 – 8,35) neutre à basique (Moslem *et al.*, 2019). Le pH intervient dans les équilibres acido-basiques et la libération de certains composés toxiques chélatés (Dovonou, 2008). Les teneurs en oxygène dissous des eaux du Nokoué sont relativement faibles et identiques à 4,66 – 5,50 mg/l (Issola *et al.*, 2008) relevées dans la lagune Fresco (Côte d'Ivoire) et 0,81 – 2,43 mg/l (Buhungu *et al.*, 2018) observées dans la rivière Kinyankonge (Burundi).

Les teneurs en ions ammonium du lac Nokoué sont similaires à celles relevées par Moslem *et al.* (2019) dans les eaux du lac Zarivar en Iran (0,11 – 11,3 mg/l) et obtenues par Buhungu *et al.* (2018) dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,67 – 1,86 mg/l). Des teneurs très élevées en ammonium (5,2 – 30,0 mg/l) ont été observées par Agbohessi *et al.* (2023) lors des montées des eaux sur le lac Nokoué. L'ammonium résulte de la première étape de la dégradation de la matière organique azotée par les bactéries ammonifiantes. En dehors de la pollution organique (matières végétales, matières organiques animales ou humaines), l'ammoniac peut provenir des rejets industriels, des engrais, des eaux souterraines, des eaux de pluies, etc (Dovonou, 2008).

Les niveaux relevés en ions nitrites dans le lac Nokoué sont très faibles aux concentrations en ions nitrites obtenues dans la lagune Fresco en Côte d'Ivoire (6,12 – 36,4 mg/l) par Issola *et al.* (2008), mais similaires à celles obtenues dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,016 – 0,037 mg/l) par Buhungu *et al.* (2018). Les nitrites sont formés sous l'action des bactéries nitreuses du genre *Nitrosomonas* par oxydation de l'ammonium ou par réduction des nitrates. Ils peuvent également être d'origine industrielle. Ils constituent le plus souvent la preuve de la présence d'impuretés d'origine fécale. Ils ne se maintiennent que lorsque le milieu n'est pas suffisamment oxydant et leur présence indique un état critique de pollution organique car cela indique un manque d'oxygène pour l'autoépuration (Dovonou, 2008).

Les concentrations en ions nitrates dans les eaux du lac Nokoué semblent élevées comparées aux valeurs obtenues dans la lagune de Fresco en Côte d'Ivoire (0,22- 0,39 mg/l) par Issola *et al.* (2008), dans la rivière Kinyankonge au Burundi (0,94 – 1,83 mg/l) par Buhungu *et al.* (2018) et dans le lac Zarivar en Iran (0,001 – 0,011 mg/l) par Moslem *et al.* (2019). Les nitrates sont issus de l'oxydation des nitrites (nitration) grâce aux bactéries du genre *Nitrobacter*.

Les teneurs en ions phosphates dans les eaux du lac Nokoué sont identiques à celles notées en Iran dans le lac Zarivar (0,019 – 1,45 mg/l) par Moslem *et al.* (2019) et relativement faibles aux valeurs de 1,04-6,29 mg/l obtenues au Burundi dans la rivière Kinyankonge (Buhungu *et al.*, 2018). Les phosphates se rencontrent dans les eaux naturelles, dans les eaux usées domestiques et agricoles. Ils se forment par suite de la décomposition de la matière organique. Ils jouent un rôle important dans la croissance des organismes et représentent un facteur limitant dans la productivité primaire des eaux: un milieu pauvre en phosphate est peu productif et est dit oligotrophe tandis qu'un excès de phosphate le rend eutrophe (Dovonou, 2008).

La demande chimique en oxygène (DCO) relevée dans les eaux du Nokoué est supérieure à celle obtenue au Burundi (42,9 – 279,6 mg/l) dans la rivière Kinyankonge

(Buhungu *et al.*, 2018). Par contre la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des eaux du lac Nokoué est très faible comparée aux valeurs de 21,9 - 139,2 mg/l observées au Burundi dans la rivière Kinyankonge (Buhungu *et al.*, 2018). La mesure de la DBO₅ permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité et son degré de pollution organique (Dovonou, 2008).

L'indice de pollution organique (IPO) pour le lac Nokoué selon Capo-chichi *et al.* (2022) varie de 2 à 3,75 traduisant une pollution organique modérée à forte et selon Agbohessi *et al.* (2023) l'IPO est de 1,33 indiquant une très forte pollution due à une faible minéralisation des matières organiques. Cette pollution organique du lac Nokoué est identique à ce qui est observé dans les eaux de la Merja Fouarat au Maroc (IPO = 1,5-3,75) par Chahboune *et al.* (2012) et dans les eaux naturelles de la région d'El Tarf au Nord-Est de l'Algérie (IPO = 1 – 2,33) par Bahroun et Houria. (2011). L'évolution des valeurs de l'IPO montre que cet état dégradé de la qualité des eaux du lac Nokoué est dû aux rejets des effluents domestiques et industriels (Benbouih *et al.*, 2005) et aux dépotoirs d'ordures ménagères par endroits sur le plan d'eau. Les valeurs de cet indice s'expliquent par les teneurs élevées en ammonium et en phosphate (Benzizoune *et al.*, 2004). La pollution organique du lac Nokoué entraîne l'hyper-eutrophisation caractérisée par la prolifération des plantes aquatiques comme la Jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes* (Ogutuhwayo *et al.*, 1997). Cette prolifération des végétaux aquatiques est à l'origine de la formation d'un écran en surface des eaux qui empêche l'oxygénation du milieu. De plus, la décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment, d'où le niveau bas en oxygène dissous noté dans le lac Nokoué. Ces conditions sont défavorables à la vie de certaines espèces notamment celles dépendantes de l'oxygène dissous dans l'eau comme les Cichlidés. La production de sulfures et de nitrites inhibe le développement d'autres producteurs primaires et des poissons à grande sensibilité.

Pollutions du lac Nokoué par les métaux toxiques

Seuls le plomb, le cadmium et le mercure ont été pris en compte dans la présente étude du fait de leur forte gravité spécifique et de leur toxicité sur les divers organismes animaux aquatiques.

Teneurs des eaux en métaux toxiques

Les teneurs dans l'eau du lac Nokoué en plomb, en cadmium et en mercure sont recensées dans le Tableau 2. Les teneurs en plomb relevées dans l'eau du lac Nokoué sont relativement similaires à celles obtenues dans l'eau de la lagune de Porto-Novo (0,114 mg/l) au Bénin (Agbandou *et al.*, 2018) et dans le lac Toho à Lokossa (0,1032 mg/l) toujours au Bénin (Hekpazo *et al.*, 2020), dans l'eau du fleuve Congo (0,01 – 0,05 mg/l) au Congo (Jeff *et al.*, 2021) et dans l'eau du bassin de Didagou (0,0004 – 0,0599 mg/l) au Togo (Kpiagou *et al.*, 2022). Mais Kaki *et al.* (2011) ont obtenu des concentrations en plomb dans l'eau du lac Nokoué allant jusqu'à 10,1 mg/l très élevées et supérieures aux normes de l'OMS (organisation mondiale de la santé)

pour les teneurs en plomb de l'eau fixées à 0,01 mg/l (OMS, 2017). Les teneurs en cadmium relevées dans l'eau du lac Nokoué sont semblables à celles trouvées dans l'eau du lac Toho (0,046 mg/l) par Hekpazo *et al.* (2020), et l'eau du fleuve Congo (0,01 – 0,02 mg/l) par Jeff *et al.* (2021) et supérieures à celles dans l'eau du bassin de Didagou (0,0005 – 0,0069 mg/l) par Kpiagou *et al.* (2022). Cette concentration en cadmium de 0,03 mg/l trouvée dans l'eau du Nokoué est supérieure à la limite de 0,003 mg/l fixée pour l'eau (OMS, 2017). La teneur en mercure de 0,0011 mg/l relevée dans l'eau du lac Nokoué par Agbandou *et al.* (2018) est similaire à 0,0017 mg/l obtenue par les mêmes auteurs dans la lagune de Porto-Novo, semblable à celles obtenues par Khamar *et al.* (2000) dans les effluents urbains en Algérie (0,001 – 0,083 mg/l) et dans l'eau du bassin de Didagou (0,0003 – 0,0025 mg/l) au Togo par Kpiagou *et al.* (2022). Mais la concentration en mercure de 6,66 mg/l dans l'eau du Nokoué obtenue par Karim *et al.* (2023) est très élevée et supérieure à la limite de 0,006 mg/l fixée pour l'eau (OMS, 2017).

Teneurs des sédiments en métaux toxiques

Les teneurs des sédiments en métaux toxiques sont présentées dans le Tableau 3. Les concentrations en plomb dans les sédiments du lac Nokoué sont similaires à celles trouvées dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (3,52 – 60,6 mg/kg) par Chouti *et al.* (2010) et dans le lac Ahémé (21,3 mg/kg) par Agbandou *et al.* (2018), mais supérieures à celles rapportées dans les sédiments de la rivière N'zi (0,2 – 1,63 mg/kg) en Côte d'Ivoire par Ouattara *et al.* (2021) et faibles comparées aux teneurs en plomb trouvées dans les sédiments (118,9 mg/kg) de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Irié Bi *et al.*, 2019). Les niveaux en cadmium obtenus dans les sédiments du lac Nokoué sont similaires à ceux rapportés dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (0,6-7,33 mg/kg) au Bénin (Chouti *et al.*, 2010), de la rivière N'zi (0,44 – 0,53 mg/kg) en Côte d'Ivoire (Ouattara *et al.*, 2021) et dans les sédiments de la lagune Ebrié (0,74 mg/kg) en Côte d'Ivoire (Irié Bi *et al.*, 2019). Mais des valeurs allant jusqu'à 22,1 mg/kg ont été obtenues par Kaki *et al.* (2011) dans les sédiments du lac Nokoué. Ce niveau en cadmium est très élevé et supérieur à la limite de 0,11 mg/kg fixée par le groupe mixte d'experts sur les aspects scientifiques de la protection du

milieu marin. Pour le mercure, les concentrations obtenues dans les sédiments du lac Nokoué sont semblables à celles des sédiments de la ferme aquacole de Bingerville en Côte d'Ivoire (0,169 – 0,177 mg/kg) relevées par Coulibaly *et al.* (2018) et à celles des sédiments de la rivière N'zi en Côte d'Ivoire (0,002 – 0,064 mg/kg) obtenues par Ouattara *et al.* (2021), mais faible par rapport aux valeurs trouvées par Chouti *et al.* (2010) dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (0,17-2,73 mg/kg).

Teneurs des poissons et autres organismes animaux aquatiques en métaux toxiques

Le Tableau 4 présente quelques données d'accumulation d'éléments traces métalliques dans quelques animaux aquatiques capturés dans le lac Nokoué quelle que soit la saison. Les niveaux en plomb dans les poissons, crabes, crevettes et huîtres pêchés dans le lac Nokoué sont globalement très supérieurs à la limite de 0,2 mg/kg fixée pour leur comestibilité (OMS, 2005). La concentration en plomb obtenue chez *Liza falcipinnis* (31,7 mg/kg) capturé dans le lac Nokoué est très élevée que celle obtenue chez la même espèce pêchée dans le fleuve Congo (1,17 mg/kg) par Jeff *et al.* (2021). La teneur en plomb trouvée chez *Chrysichtys* spp (0,0992 – 29,5 mg/kg) capturée dans le lac Nokoué va à des limites très supérieures à celle rapportée chez la même espèce dans la lagune de Porto-Novo (3,44 mg/kg) au Bénin par Agbandou *et al.* (2018). De la même manière, les résidus de plomb obtenus chez *Ethmalosa fimbriata* (0,113 – 25,5 mg/kg) du lac Nokoué vont à des niveaux très supérieurs à ceux relevés chez la même espèce dans la lagune de Porto-Novo (5,90 mg/kg) par Agbandou *et al.* (2018). La concentration en plomb trouvée chez *S. melanotheron* (19,2 mg/kg) pêchée dans le lac Nokoué est largement supérieure à celles révélées chez *Oreochromis niloticus* pêchée dans le lac Toho (0,14 mg/kg) au Bénin (Hekpazo *et al.*, 2020) et dans le fleuve Congo (0,25 mg/kg) au Congo (Jeff *et al.*, 2021). La teneur en plomb obtenue chez les huîtres *Crassostrea* Spp (9,39 mg/kg) du lac Nokoué est très élevée comparativement à celle trouvée chez le même genre d'huître (2,95 mg/kg) par Ouro Sama *et al.* (2014) dans le système lagunaire togolais. Par contre, les crabes *Callinectes amnicola* du lac Nokoué concentrent moins (0,82 – 1,81 mg/kg) de plomb que leurs homologues du lac Ahémé (20,9 mg/kg) au Bénin (Dossou *et al.*, 2022).

Tableau 2: Teneurs des eaux du lac Nokoué en plomb, cadmium et mercure

Éléments traces métalliques	Concentrations (mg/l)	Références
Plomb	0,56	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	0,107	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	0,01 – 10,1	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Cadmium	0,03	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
Mercure	0,0011	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	6,66	Karim <i>et al.</i> (2023)

Tableau 3: Teneurs des sédiments du lac Nokoué en plomb, cadmium et mercure

Éléments traces métalliques	Concentrations (mg/kg)	Références
Plomb	54,0	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	3,2 – 13,9	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Cadmium	0,74	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	0,56 – 22,1	Kaki <i>et al.</i> (2011)
Mercure	0,03 – 0,13	Zoffoun (2019)

Les niveaux de concentration en cadmium des poissons, mollusques et crustacés rapportés dans le lac Nokoué sont de façon générale au-delà de la limite de 0,05 mg/kg fixée par OMS (2005) pour leur comestibilité. Pour ce qui est des poissons, la teneur obtenue chez *C. auratus* (0,3 mg/kg) du lac Nokoué est semblable aux teneurs trouvées chez *O. niloticus* (0,179 mg/kg) et *C. gariepinus* (0,173 mg/kg) du fleuve Congo par Jeff *et al.* (2021), chez *Caranx hippos* (0,33 mg/kg), *Hemichromis fasciatus* (0,98 mg/kg) par Ouro-Sama *et al.* (2014) dans le système lagunaire togolais et chez *O. niloticus* (0,087 mg/kg) du lac Toho par Hekpazo *et al.* (2020). Mais toutes ces valeurs sont très faibles comparées aux concentrations en cadmium rapportées dans le lac Nokoué chez *L. falcipinnis* (2,11 mg/kg), *E. fimbriata* (2,12 mg/kg) et *S. melanotheron* (2,19 mg/kg). Quant au mollusque *C. gigas*, sa teneur en cadmium dans le lac Nokoué (10,4 mg/kg) est largement supérieure à 0,83 mg/kg trouvée pour *C. gasar* (Ouro-Sama *et al.*, 2014).

Les teneurs en mercure des organismes aquatiques rapportées dans le lac Nokoué notamment celles trouvées par Agbandou *et al.* (2018) sont nettement au-delà de 0,287 mg/kg trouvée chez *E. fimbriata* et de 0,046 mg/kg chez *C. nigrodigitatus* capturées dans la lagune de Porto-Novo par les mêmes auteurs.

Quelques conséquences de la contamination du lac Nokoué par les métaux toxiques

En réalité jusqu'à maintenant et à notre connaissance, aucune étude écotoxicologique n'a encore investigué l'impact de cette contamination en métaux toxiques sur les organismes animaux vivant dans ce cours d'eau. Des publications (Tabinda *et al.*, 2010; Agbohessi *et al.*, 2023) ont cependant rapporté que les métaux lourds sont dangereux pour les espèces aquatiques à cause de leur persistance

dans l'environnement, leur tendance à la bioaccumulation et surtout leur toxicité. Ebrahimi et Taherinfard (2011) ont indiqué qu'une exposition chronique aux métaux lourds (Pb, Cd, Hg) inhibait chez les poissons la synthèse de l'œstrogène et des androgènes. Selon Hachfi *et al.* (2012), le cadmium est un métal perturbateur endocrinien capable d'affecter l'homéostasie, la reproduction et également d'altérer la fonction de l'axe hypothalamus -hypophyse -gonade – foie chez les poissons. De plus, il est également capable de perturber la synthèse hormonale et d'endommager la liaison aux protéines plasmatiques. Des études ont également prouvé que ces métaux toxiques altéraient la spermatogenèse, l'ovogenèse et causaient des perturbations hépatiques chez *Labeo rohuta* et chez *Auchenoglanis occidentalis* (Abalaka 2015; Saravpreed *et al.*, 2018). L'exposition aux métaux lourds affecte le développement embryonnaire et larvaire des poissons en induisant l'augmentation du rythme cardiaque, la réduction de l'activité cardiaque, l'augmentation du taux de mortalité et le taux des malformations, les déformations de la colonne vertébrale, etc (Taslina *et al.*, 2022). Les études d'une exposition aux éléments traces métalliques ont indiqué que ces métaux toxiques induisent un stress chimique qui inhibe la croissance chez plusieurs espèces de poissons dont *Catla catla*, *L. rohuta*, etc (Naz et Chatha, 2022).

Pollution du lac Nokoué par les pesticides

Teneurs en pesticides dans les eaux du lac Nokoué

Les résultats de l'analyse des sédiments prélevés entre 0 et 10 cm au fond de quelques sites du lac Nokoué sont présentés dans le Tableau 5. Les taux de DDT et ses métabolites les plus élevés obtenus sur les sites du lac Nokoué sont obtenus à Ladjé et sont tous très élevés par rapport à la recommandation canadienne pour la qualité de l'eau (1,42 µg/kg [DDE],

Tableau 4: Teneurs de quelques organismes aquatiques pêchés dans le lac Nokoué en plomb, cadmium et en mercure

Éléments traces métalliques	Organismes aquatiques	Valeurs (mg/kg)	Références
Plomb	<i>Liza falcipinnis</i>	31,7	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	<i>Chrysichthys auratus</i>	29,5	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	25,5	
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	19,2	
	<i>Penaeus kerathunis</i>	29,5	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	0,113	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	0,099	Goussanou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Callinectes amnicola</i>	0,82 – 1,81	
<i>Crassostrea gigas</i>	9,39	Kindekon <i>et al.</i> (2021)	
Cadmium	<i>Liza falcipinnis</i>	2,11	Hounkpatin <i>et al.</i> (2012)
	<i>Chrysichthys auratus</i>	0,3	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	2,12	
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	2,193	
	<i>Penaeus kerathunis</i>	0,3	
	<i>Callinectes amnicola</i>	0,11-0,23	Goussanou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Crassostrea gigas</i>	10,40	Kindekon <i>et al.</i> (2021)
Mercure	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	9,31-22,7	Degila <i>et al.</i> (2022)
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	3,47-7,27	
	<i>Penaeus spp</i>	3,80-7,27	
	<i>Crassostrea gasar</i>	4,74-8,98	
	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	0,113	Agbandou <i>et al.</i> (2018)
	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i>	0,099	

3,54 µg/kg [DDD] et 1,19 µg/kg [DDT]). Ces teneurs obtenues dans les sédiments à Ladji par Yéhouéno (2005) sont également au-dessus des concentrations néerlandaises maximales permises (58 µg/kg [DDE], 39 µg/kg [DDD] et 98 µg/kg [DDT]). Les teneurs en DDE et DDD rapportées à Ladji sur le lac Nokoué par Yéhouéno (2005) sont respectivement supérieures à celles de Yéhouéno *et al.* (2006) à Kpassa (131 µg/kg [DDE] et 61,5 µg/kg [DDD]), et à Lowé (68 µg/kg [DDE] et 115,5 µg/kg [DDD]) sur le fleuve Ouémé. Cependant, la teneur en DDT rapportée à Ladji par Yéhouéno (2005) est en dessous de celles de Bétérou (139-809 µg/kg), Donga (134-189 µg/kg), Kpassa (159,5 µg/kg), Lowé (167,3- 312 µg/kg), Bonou (220 µg/kg) et Toué (123 µg/kg) sur le fleuve Ouémé (Yéhouéno *et al.* (2006b). Ensuite, les concentrations en DDE (280 µg/kg) et en DDT (23 µg/kg) des sédiments collectés à Ladji (Yéhouéno, 2005) sont largement au-dessus de ceux des retenus d'eau de Batran (respectivement 1,5 et 1,2 µg/kg) et de Sori (respectivement 2,1 et 1,5 µg/kg) (Douny *et al.*, 2021). Aussi, le niveau en DDE dans les sédiments de Ladji rapporté par Yéhouéno (2005) est nettement supérieur à ceux (149 µg/kg) de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Marchand et Martin, 1985), (15,85 µg/kg) de la rivière Agbansiandi au Togo (Mawussi, 2008) et (4,47 µg/kg) du lac Nakuru au Kenya (Mavura et Wangila, 2003). Par contre les teneurs en DDD (128 µg/kg) et en DDT (23 µg/kg) des sédiments collecté à Ladji par Yéhouéno, (2005) sont très inférieures à celles trouvées dans la lagune Ebrié respectivement de 803 µg/kg et 354 µg/kg (Marchand et Martin, 1985).

Teneurs en pesticides de quelques organismes animaux du lac Nokoué

Le Tableau 6 présente quelques données chiffrées de résidus d'organochlorés retrouvés chez quelques animaux aquatiques (poissons, mollusques et crustacés) du lac Nokoué par Yéhouéno *et al.* (2013). L'analyse du tableau montre que les teneurs résiduelles en DDT et ses métabolites dans les poissons étudiés varient de 99 à 289 ng/g (DDE), de 55 à 168 ng/g (DDD), et de 20 à 123 ng/g (DDT). Ces valeurs de DDE sont supérieures à celles rapportées dans les retenues d'eau de Batran chez *O. niloticus* (5,3 ng/g) et chez *C. gariepinus* (8,0 ng/g) (Douny *et al.*, 2021). Ces valeurs de DDE sont également au-dessus de celles obtenues sur le fleuve Ouémé à Kpassa chez *O. niloticus* (41 ng/g) à Bétérou chez *C. gariepinus* (66 ng/g) (Yéhouéno *et al.*, 2006b), et dans la rivière Pendjari chez *Polypterus endlicheri* (93 ng/g) (Soclo, 2003) mais inférieures à celles rapportées à Atchakpa-Béri chez *C. gariepinus* (421 ng/g) par Yéhouéno *et al.* (2006) et dans la rivière Dridji chez *C. gariepinus* (403 ng/g) par Agbohessi *et al.* (2012). Ces niveaux de DDE sont supérieurs à ceux qui ont été trouvés chez les poissons du lac Nakuru au Kenya (34,9 ng/g) par Mavura et Wangila, (2003) et à ceux trouvés par Afful *et al.* (2010) (1,3 à 12 ng/g) dans les poissons du bassin de Densu au Ghana. Les taux en Σ DDT (DDE+DDD+DDT) des poissons varient de 189 à 580 ng/g de lipides. Ces concentrations en Σ DDT des poissons capturés dans le lac Nokoué sont supérieures à celles rapportées dans le fleuve Ouémé à Kpassa chez *O. niloticus* (129 ng/g), *Sarotherodon galileus* (139 ng/g), à

Tableau 5: Résidus de pesticides organochlorés identifiés et quantifiés dans les sédiments collectés sur plusieurs sites du lac Nokoué (µg/kg Matière organique)

Résidus	Sites de collectes des sédiments									Références
	Sô-Ava	Sô-Tchanhoué	Ganvié	Abomey-Calavi	Zogbo	Awan-sori	Vèkky	Jésuko	Ladji	
DDE	<dl	<dl	11,5	7,5	15,0	74,0	<dl	<dl	280,0	Yéhouéno (2005)
DDD	<dl	<dl	23,0	15,0	<dl	56,0	<dl	<dl	128,0	
DDT	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	23,0	
ΣDDT	<dl	<dl	34,5	22,5	15	130	<dl	<dl	431,0	
Pp'DDE	<dl	<dl	2,0	2,0	1,0	4,0	<dl	<dl	24,4	Yéhouéno <i>et al.</i> (2013)
Pp'DDD	<dl	<dl	4,0	4,0	<dl	3,2	<dl	<dl	11,1	
Pp'DDT	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	2,0	
ΣDDT	<dl	<dl	6,0	6,0	1,0	7,2	<dl	<dl	37,5	

<dl = inférieur à la limite de détection qui est de 0,1 µg/kg

Tableau 6: Teneurs en résidus de pesticides identifiés et dosés dans les espèces de poissons du lac Nokoué (ng/g de lipides) (Yéhouéno *et al.*, 2013)

Organismes aquatiques	Teneur en lipide (ng/g)	Pp'-DDE	Op'-DDD	Pp'-DDD	Op'-DDT	Pp'-DDT	ΣDDT	q'-endo	Aldrin	Dieldrine	γ-HCH
<i>Elops lacerta</i>	2	189	17	76	16	52	350	86	6	<6	<6
<i>Gobbiellus occidentalis</i>	1,9	113	<6	59	17	15	<210	31	31	19	28
<i>Ethmalosa fimbriata</i>	1,95	289	26	142	28	95	580	13	13	15	4
<i>Podamasys jubelini</i>	2	194	3	67	8	12	284	25	3	3	4
<i>Mugil cephalus</i>	2	106	12	65	9	25	217	4	4	11	<4
<i>Hemichromis fasciatus</i>	2	99	4	51	10	19	183	5	5	14	13
<i>Callinectes sp</i>		<40	-	12	-	-	<50	<50	-	-	-
<i>Penaeus notialis</i>		<40	-	-	15	-	<60	<15	-	-	-
<i>Ostrea sp</i>	-	<150	-	75	-	<60	<400	-	<10	-	-

Toué chez *Tilapia zillii* (134 ng/g) et à Lowé chez *Protopterus annectens* (130 ng/g) (Yéhouéno et al., 2006b). Cependant ces valeurs trouvées chez les poissons du lac Nokoué sont très inférieures à celles rapportées sur le même fleuve Ouémé à Bonou chez *C. gariepinus* (1 642 ng/g) à Atchakpa-Béri, chez *C. gariepinus* (1 384 ng/g), à Lowé chez *Schilbe intermedius* (1 191 ng/g) et *C. auratus* (1 238 ng/g) par les mêmes auteurs et dans la rivière Pendjari chez *P. endlicheri* (6 900 ng/g) par Soclo (2003). Ces niveaux de \sum DDT (189 à 580 ng/g) rapportés chez les poissons du lac Nokoué sont plusieurs fois élevés à ceux obtenus chez les poissons du lac Paranoa (1,35 ng/g) au Brésil (Caldas et al., 1999) mais très inférieurs à ceux rapportés chez *Micropterus Salmoides* (2100 ng/g) capturé au Kenya dans le lac Naivasha (Gitahi et al., 2002).

Les concentrations en α -endosulfan chez les poissons du lac Nokoué varient de 4 à 86 ng/g. Le niveau de α -endosulfan le plus élevé est rapporté chez *Elops lacerta* (86 ng/g) et est supérieur à celui des autres espèces mais très inférieur à celui rapporté chez *P. endlicheri* (8180 ng/g) dans la rivière Pendjari (Soclo, 2003).

Les concentrations en Aldrin des poissons du Nokoué varient de 2 à 31 ng/g et celles de la Dieldrine de 3-19 ng/g. Ces valeurs de la Dieldrine sont très inférieures à celles trouvées à Lowé par Yéhouéno et al (2006b) chez *P. annectens* (750 ng/g) et dans la rivière Pendjari chez *P. endlicheri* (200 ng/g) par Soclo (2003).

Les niveaux de γ -HCH rapportés chez les poissons du Nokoué varient de 4 à 28 ng/g mais très faibles par rapport à 174 ng/g observé dans la Pendjari chez *P. endlicheri* (Soclo, 2003).

Les niveaux de résidus organochlorés de poissons collectés dans le lac Nokoué sont inférieurs à ceux signalés pour les poissons des marchés et des zones de pêche d'Abidjan (Biego et al., 2010), du lac Qarun en Égypte (Mansour, 2009), lac Taabo en Côte d'Ivoire (Roche et al., 2007) et la lagune de Lagos au Nigeria (Adeyemi et al., 2008).

Les teneurs en \sum DDT (DDE+DDD+DDT) des poissons variant de 189 à 580 ng/g, presque identiques à celle du mollusque *Ostrea* sp (<400 ng/g de lipide), sont toutes supérieures à celles obtenues chez les crustacés *Callinectes* sp (<50 ng/g) et *Penaeus notialis* (<60 ng/g). Pour ce qui est de l'endosulfan, les crustacés en sont pourvus tandis que *Ostrea* sp n'en contient pas.

Quelques conséquences de la contamination du lac Nokoué par les pesticides

A notre connaissance aucune étude écotoxicologique ne s'est encore penchée sur l'impact des effluents agricoles sur les organismes du lac Nokoué. Cependant, plusieurs études avaient déjà prouvé que les pesticides organochlorés comme le DDT et son métabolite pp'-DDE, la Dieldrine, le lindane, l'endosulfan ont des activités oestrogéniques sur les poissons contaminés (Agbohessi et al., 2015a et b). Agbohessi (2014) et Agbohessi et al. (2015b) avaient révélé que l'endosulfan perturbe chez *Tilapia guineensis* et *C. gariepinus* le système endocrinien et induit chez les individus mâles des testis-ova et chez les femelles des ovocytes atrétiques pré-ovulatoires, indiquant une féminisation de ces poissons. Okoumassoun et al. (2002) avaient également relevé chez des individus mâles matures de *S.*

melanotheron collectés dans le fleuve Ouémé et contaminés en pesticides organochlorés (DDT, endosulfan, aldrin, dieldrine), des niveaux élevés de vitellogénine qui est une lipoprotéine synthétisée dans le foie sous l'impulsion de la 17 β -estradiol qui ne devrait pas être présent à un niveau élevé chez les mâles. Cela signifie que ces pesticides organochlorés ont des activités oestrogéniques. Ces pesticides organochlorés inhibent la croissance chez de nombreuses espèces de poisson (Agbohessi et al., 2014).

Teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) du lac Nokoué

Les teneurs moyennes totales en HAP relevées dans l'eau du lac Nokoué varient de 0,06 à 0,062 μ g/l selon Dovonou et al. (2019) et 0,067 à 0,137 μ g/l selon Tossou (2001). En termes de composition en HAP, Dovonou et al. (2019) ont trouvé dans l'eau du lac Nokoué la naphtalène (0,01 – 0,03 μ g/l), l'acenaphthène (0,02 – 0,05 μ g/l), l'anthracène (0,09 – 0,1 μ g/l), la fluoranthène (0,0 – 0,06 μ g/l) et l'acenaphthène (0,07 – 0,1 μ g/l). Ces différents niveaux de naphtalène, d'acenaphthène, de fluoranthène et d'acenaphthène dans l'eau du lac Nokoué sont très élevés par rapport à la norme ISO fixée à 0,001 μ g/l (CIRC, 2012). De la même manière la teneur en anthracène obtenue dans l'eau est supérieure à la même norme ISO fixée à 0,01 μ g/l (CIRC, 2012). Les teneurs rapportées pour le lac Nokoué par Dovonou et al. (2019) en HAP du *T. guineensis* (0,0056 – 0,0068 μ g/l), de *H. fasciatus* (0,0059 – 0,0068 μ g/l) et de *S. melanotheron* (0,0059 – 0,0073 μ g/l) sont supérieures à celles relevées par les mêmes auteurs chez les mêmes espèces dans la rivière Sô.

Aucune étude écotoxicologique n'a été faite à notre connaissance pour évaluer l'impact de ces HAP sur les organismes aquatiques dans le lac Nokoué. Mais la toxicité des HAP est reconnue et ces substances sont classées cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques et hépatotoxiques. Outre leur caractère ubiquiste, leur forte toxicité justifie leur classement en Polluants Organiques Persistants et leur inscription comme substances prioritaires sur les listes de la commission européenne, de l'agence de protection de l'environnement des États-Unis et de l'OMS (Du-Lacoste, 2008). Le benzo[a]pyrène par exemple, qui est très étudié, entraîne une diminution du poids, de la croissance, une augmentation du rapport gonado-somatique chez *Oryzias latipes* (Chikae et al., 2004), des cassures de l'ADN chez *C. gigas* (Wessel et al., 2007), des adduits à l'ADN chez *Danio rerio* (Tarantini, 2009). Des effets tératogènes notamment sur le coeur de *Clupea pallasii* et de *D. rerio* (Hicken et al., 2011) ont été observés ainsi qu'une anémie chez *Sebastes schlegeli* (Kim et al., 2008). Le benzo[a]pyrène affecte la reproduction chez *Oniscus asellus* et *Asellus porcellio* scaber, il s'accumule dans les ovocytes chez le poisson-chat *Ictalurus punctatus* (Montverdi et Di Giulio, 2000). Il perturbe l'expression de l'aromatase chez les femelles de *Fundulus heteroclitus* (Patel et al., 2006) et inhibe la synthèse de testostérone et d'œstradiol chez *Platichthys flesus* (Rocha Monteiro et al., 2000). La crevette (*Palaemonetes pugio*), exposée par l'aliment au pyrène, présente une réduction de la survie (Oberdörster et al., 2000). Les HAP sont des molécules lipophiles qui sont transportées et qui se retrouvent dans les ovaires via la vitellogénine (Montverdi and Di Giulio, 2000) et/ou la lipovitelline (Lee, 1993). Ils peuvent également entraîner une inhibition de la synthèse

de la vitellogénine, comme cela a déjà été montré chez la truite après une exposition au β -naphthoflavone (Anderson *et al.*, 1996). Cette exposition compromet la maturation des ovaires et provoque une augmentation de l'apoptose dans les cellules gonadiques (Marty *et al.*, 1997). Ces polluants entraînent, par exemple, une inhibition de la reproduction chez les crevettes exposées au pyrène (Oberdörster *et al.*, 2000). Chez les moules, les gamètes sont déformées et elles sont présentes en nombre réduit (Eertman *et al.*, 1995). Chez le mâle, la qualité du sperme est réduite, et on observe également une augmentation de l'apoptose testiculaire.

Autres polluants chimiques du lac Nokoué

Plusieurs autres contaminants chimiques notamment des micropolluants industriels ont été suspectés dans le lac Nokoué sans avoir fait l'objet d'une étude réelle. Il s'agit des détergents industriels (Dovonou *et al.*, 2019), des polychlorobiphényles (Dovonou *et al.*, 2011) et des dioxines et autres produits dérivés (Adjagodo *et al.*, 2016).

Les détergents industriels, c'est par exemple les alkylphénols polyéthoxylates qui sont des surfactants non ioniques, constituants des peintures et revêtements, des cosmétiques, etc, susceptibles d'être dans les effluents hospitaliers, les effluents domestiques et urbains, les effluents des industries de fabrication de peintures, les effluents de teinturerie, les effluents agricoles, etc. Les détergents industriels sont connus pour être des inhibiteurs de la croissance, reprotoxiques, hépatotoxiques et possèdent de très fortes activités oestrogéniques sur les poissons et autres animaux aquatiques (Boillot, 2008).

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés organochlorés, des mélanges de biphényles à divers degrés de chloration. Ils sont utilisés généralement comme lubrifiants, fluides hydrauliques et fluides d'isolation. Ils se retrouvent dans l'environnement suite à l'incinération des plastiques en dessous de 1200 °C et contenus aussi dans les rejets industriels et domestiques. Les PCB sont des perturbateurs endocriniens oestrogéniques (Daouk, 2011). Ils perturbent également le développement, le système reproducteur et hépatique des poissons (Monosson, 2000).

Les dioxines et produits dérivés sont issus d'une grande variété de processus domestiques et industriels (incinérations de plastiques, industries de pâtes à papier, usines de textiles, etc). Les effluents d'usines de papeterie, de textiles et de teinturerie ont prouvé déjà leurs effets oestrogéniques sur les animaux aquatiques (Matti et Raimo, 2019). Des études ont montré que ces substances altèrent la croissance des poissons, leur productivité telle que la diminution de la taille des gonades, leurs systèmes immunitaires et leurs processus biochimiques (Kamal, 2006).

Pollution bactériologique du lac Nokoué

Peu d'études sur les teneurs en germes bactériologiques ont été réalisées sur le lac Nokoué malgré l'exposition constante de cet écosystème à ce type de polluant. Les rares données concernent celles de Dovonou *et al.* (2011) qui ont rapporté dans ce biotope des teneurs en coliformes totaux d'environ 12 000 UFC/ 100 ml, des coliformes fécaux de 40 000 UFC/ 100 ml et des streptocoques fécaux de 40 000 UFC/ 100 ml. Ces différents taux sont supérieurs chacun à la norme 10^3 UFC/100 ml fixée par OMS (1989) pour le rejet direct dans l'environnement. La charge bactérienne

en coliformes fécaux supérieure à la norme $>20\ 000$ UFC/100 ml de OMS (2014) indique une contamination par des germes fécaux. Cette contamination fécale a pour origine, la défécation directe dans l'eau du lac Nokoué par les populations lacustres, les boues de vidanges des fosses septiques des maisons de Cotonou et Calavi déversées dans ce cours d'eau, les déjections animales versées dans l'eau, les dépotoirs d'ordures ménagères par endroits le long de la berge de ce cours d'eau et les eaux résiduaires brutes de la ville d'Abomey-Calavi et de Cotonou. Des études de Adjahouinou *et al.* (2014) ont d'ailleurs montré dans les eaux résiduaires de la ville de Cotonou la présence de *Escherichia coli* ($4,32 \cdot 10^6$ UFC/100 ml), de coliformes totaux ($1,3 \cdot 10^7$ UFC/100 ml), de streptocoques fécaux ($4,3 \cdot 10^6$ UFC/100 ml) et de germes anaérobie sulfite-réducteurs ($7,9 \cdot 10^4$ UFC/100 ml). Cette charge bactérienne du lac Nokoué est tout de même faible comparée à celle trouvée par Abdelmalek *et al.* (2012) dans les eaux de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie) qui ont rapporté des coliformes totaux de $188 \cdot 10^7$ UFC/100 ml, des coliformes fécaux de $46 \cdot 10^7$ UFC/100 ml et des streptocoques fécaux de $28 \cdot 10^7$ UFC/100 ml. Cette contamination fécale du lac Nokoué peut influencer le système immunitaire des poissons et est une source potentielle d'épidémie (Adjahouinou *et al.*, 2014).

CONCLUSION

Le lac Nokoué est un écosystème de productivité élevée abritant une forte biodiversité de poissons, de crustacés et de mollusques. Mais cette diversité biologique connaît une érosion depuis des années due à plusieurs facteurs dont le plus important aujourd'hui est la pollution (organique, chimique et biologique). Parmi ces polluants, les plus dangereux sont ceux chimiques. Il s'agit entre autres des métaux toxiques, des pesticides chimiques, des micropolluants industriels dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les polychlorobiphényles, les détergents industriels, les dioxines et autres produits dérivés. C'est le mélange de tous ces toxiques qui impacte les organismes aquatiques de ce lac. Plusieurs de ces toxiques ont déjà été montrés comme perturbateurs endocriniens oestrogéniques. Afin d'éviter un désastre écologique, des études écotoxicologiques doivent donc être réalisées en vue d'évaluer l'impact réel de ce cocktail complexe de polluants sur les espèces de poissons, de crustacés et de mollusques. Certains polluants comme les métaux lourds, les HAP, les pesticides, etc, ont été retrouvés dans certains poissons très consommés à des concentrations hors normes. Cela pose le problème de la qualité sanitaire des produits de pêche issus du lac Nokoué et donc un problème de santé publique.

RÉFÉRENCES

- Abalaka S.E. (2015). Heavy metals bioaccumulation and histopathological changes in *Auchenoglanis occidentalis* fish from Tiga dam, Nigeria. *J. Environ. Health Sci. Engineering*, 13: 67.
- Abdelmalek B., Hamaidi F., Zahraoui R., Hamaidi M.S., Megateli S. (2014). Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Sci. J.*, 15: 39-51.
- Adadedjan D., Makponse E., Hinvi L.C., Laleye P. (2017). Données préliminaires sur la diversité du zooplancton du lac Nokoué (Sud-Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 115: 11476-11489.

- Adeyemi D., Ukpo G., Anyakora C., Unyimadu J. (2008). Organochlorine pesticide residues in fish samples from Lagos lagoon, Nigeria. *Am. J. Environ. Sci.*, 4: 649-653.
- Adjagodo A., Agassounon D.T.M., Kelomey 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. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10:1460-1472.
- Adjahouinou D.C., Yehouenou B., Liady M.N.D., Fiogbe E.D. (2014). Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 78: 6705-6713.
- Afful S., Anim A.K., Serfor-Armah Y. (2010). Spectrum of organochlorine pesticide residues in fish samples from the densu basin. *Res. J. Environ. Earth Sci.*, 2: 133-138.
- Agbandou B., Houessou D., Thoto F., Chabi G. (2018). Déséquilibre écosystémique du complexe lagunaire lac Nokoué – lagune de Porto-Novo. Notes de politique ACED. <https://www.aced-benin.org/fr/publications>.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Kestemont P. (2012). État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le bassin cotonnier béninois. *Cah. Agric.*, 21: 46–56.
- Agbohessi T.P. (2014). Impact des pesticides agricoles sur le développement et la régulation du système reproducteur, le statut hépatique et la croissance des poissons dans le bassin cotonnier béninois, Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques de l'Université de Namur (Belgique), 327p.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., N'tcha I., Geay F., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2014). Exposure to agricultural pesticides impairs growth, feed utilization and energy budget in African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Int. Aquat. Res.*, 6: 229-243.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Ouédraogo A., Jauniaux T., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2015a). Assessment of the health status of wild fish inhabiting a cotton basin of Benin (West Africa) highly impacted by pesticides. *Sci. Total Environ.*, 506-507: 567-584.
- Agbohessi T.P., Imorou Toko I., Atchou V., Tonato R., Mandiki S.N.M., Kestemont P. (2015b). Pesticide used in cotton production affect reproductive development, endocrine regulation, liver status and offspring fitness in African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Comp. Biochem. Physiol., Part C: Toxicol. Pharmacol.*, 167: 157-172.
- Agbohessi P., Kinsiclounon G., Ouédraogo A., Guédégba L., Adouwekonou V., Houndji A., Imorou Toko I. (2023). Changes in blood tissue of estuarine tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1852) captured in polluted Lake Nokoué (Benin, West Africa). *Res. J. Anim. Vet. Fish. Sci.*, 11: 1-7.
- Anderson M.J., Olsen H., Matsumura F., Hinton D.E. (1996). *In vivo* modulation of 17 β -estradiol-induced vitellogenin synthesis and estrogen receptor in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver cells by β -Naphthoflavone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 137: 210-218.
- 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.
- Bahroun S., Houria K.B. (2011). Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'EL Tarf (Nord-est Algérien). *Larhyss J.*, 9: 171-178.
- Bawa M.L., Djaneye-Boundjou G., Boukari Y. (2005). Caractérisation de deux effluents industriels au Togo: étude d'impact sur l'environnement. *Afr. Sci.*, 02: 57 – 68.
- Benbouh H., Nassali H., Leblans M., Srhiri A. (2005). Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afr. Sci.*, 1: 109-125.
- Benzizoune S., Nassali H., Srhiri A. (2004). Étude de la cinétique d'adsorption du phosphore en solution sur les sédiments du lac Fouarat au Maroc. *Larhyss J.*, 3: 171-184.
- Biego G.H.M., Yao K.D., Ezoua P., Kouadio L. P. (2010). Assessment of organochlorine pesticides residues in fish sold in Abidjan markets and fishing sites. *Afric. J. Food Agric. Nutr. Dev.*, 10: 2305–2323.
- Boillot C. (2008). Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques. Contribution à l'amélioration de la phase "caractérisation des effets". INSA de Lyon. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (France), 299p.
- Buffe J. (1958). Les pêcheries en branchages «Acadja» des lagunes du Bas-Dahomey. *Rev. Bois et Forêt des tropiques*, 59: 19-24.
- Buhungu S., Montchowui E., Barankanira E. (2018). Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 576-595.
- Caldas E.D., Coelho R., Souza L.C.K.R., Silva S.C. (1999). Organochlorine pesticides in water, sediment and fish of Paranoa Lake of Brasilia, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62:199-206.
- Capo-chichi H.B.P., Adandédjan D., Aglonon Houélomé T.M., Lalèyè P. (2022). Physico-chimie et pollution organique du lac Nokoué au Sud du Bénin. *J. Appl. Biosci.*, 170: 17752– 17775.
- Chahboune N., Mehdi M., Abidi M., Douira A. (2011). Impact environnemental et évaluation de la qualité des eaux par des méthodes chimiques et biologiques «Diatomées». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6: 8024-8033.
- Chikae M., Hatano Y., Ikeda R., Morita Y., Hasan Q., Tamiya E. (2004). Effects of bis (2- ethylhexyl) phthalate and benzo[a] pyrene on the embryos of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 16: 141-145.
- Chouti W., Mama D., Changotade O., Alapini F., Boukari M. (2010). Étude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin), *J. Appl. Biosci.*, 34: 2186–2197.
- Coulibaly S., Atsé B.C., Koffi K.M. (2018). Contamination aux métaux lourds de la matrice eau- sédiment et muscle du Tilapia *Oreochromis niloticus* de trois fermes piscicoles en Côte d'Ivoire. *Agron. Afr.*, 30 : 249-259.
- Cledjo P. (1999). La gestion locale de l'environnement dans les cités du lac Nokoué (Région urbaine du littoral du sud Bénin). Mémoire de DEA. 60p.
- Daouk T. (2011). Effets de contaminations d'embryons et d'adultes de poissons zèbres (*Danio rerio*) par des PCB et des HAP. Thèse de l'Université de la Rochelle, 162 p.
- Degila H.W., Adoukpe J.G., Azon N.B.N., Quenum V., Aina M.P. (2022). Assessing the mercury content of fishes (*Sarotherodon melanotheron* and *Chrysichthys nigrodigitatus*), shrimps (*Penaeus* spp), and oysters (*Crassostrea gasar*) of complex "lake Nokoué -lagoon of Porto-Novo" in the Republic of Benin (West Africa). *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci.*, 10: 1-8.
- Dossou D., Bokossa H.K.J., Adanlokonon E.A.S., Zounon Y., Adanlokonon S.M.I., Johnson R.C., Fiogbe E.D., Edoth P. (2022). Évaluation de la contamination métallique des sédiments et des crabes (*Callinectes amnicola*) du lac Ahémé au sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16: 2424-2435.
- Douny C., Zoumenou Y.M.B.G., Aïna M., Imorou Toko I., Igout A., Guedegba L., Chabi S.K., Kestemont P., Scippo M.L. (2021). Contamination of water, sediment and fish with residues of pesticides used in cotton production in northern Benin. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 81: 367- 385.
- 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 Nokoué au Sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 1590-1602.
- Dovonou E.F., Ibikounle M., Akoudecgni C.G. (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.

- Ebrahimi M., Taherianfard M. (2011). The effects of heavy metals exposure on reproductive systems of cyprinid fish from Kor River. *Iranian J. Fisheries Sci.*, 10: 13-24.
- Eertman R.H.M., Groenink C.L.F.M.G., Sandee B., Hummel H., Smaal A.C. (1995). Response of the blue mussel *Mytilus edulis* L. following exposure to PAHs or contaminated sediment. *Mar. Environ. Res.*, 39: 169-173.
- Gitahi S.M., Harper D.M., Muchiri S.M., Tole M.P., Ng'ang'a R.C.N. (2002). Organochlorine and organo-phosphorus pesticide concentrations in water, sediment, and selected organisms in lake Naivasha (Kenya). *Hydrobiol.*, 488: 123-128.
- Gnohossou P. (2006). La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité abondance, variation temporelles et spatiales, place dans la zone trophique. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse: SEVAB. 169p.
- Goussanou A., Youssao A.K.A., Toléba S.S., Dagan S.B., Bonou A.G., Chikou A., Mensah G.A., Youssao A.K.I. (2018). Evaluation of crab Callinectes amnicola contamination by heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) in the complex Nokoué lake Porto-novo lagoon in South Benin. *Int. J. Biosci.*, 12: 98-110.
- Gras R. (1961). Liste des espèces du bas Dahomey faisant partie de la collection du laboratoire d'hydrobiologie du service des eaux, forêts et chasses du Dahomey. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire*, 23: 527-586.
- Hachfi L., Couvray S., Simide R. (2012). Impact of endocrine disrupting chemicals (EDCs) on hypothalamic pituitary – gonad – liver (HPGL) axis in fish. *W. J. Fish. Mar. Sci.*, 4: 14 -30.
- 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.
- Hicken C.E., Linbo T.L., Baldwin D.H., Willis M.L., Myers M.S., Holland L., Larsen M., Stekoll M.S., Rice S.D., Collier T.K., Scholz N.L., Incardona J.P. (2011). Sublethal exposure to crude oil during embryonic development alters cardiac morphology and reduces aerobic capacity in adult fish. *Proceedings National Academy Sci.*, 108: 7086-7090.
- Hoteyi S.M.I., Gnimadi C.C., Adjadjji G.V., Igué A.M., Mensah G.A. (2014). Analyse des risques de consommation des eaux en sachet pour les populations dans la ville de Porto-Novo au Sud-Bénin. *Bull. Rech Agron. Bénin. Numéro Agro-biodiversité et Santé publique*, 8p.
- Hounkpatin A.S.Y., Etorh P.A., Guédénon P. (2012). Haematological evaluation of Wistar rats exposed to chronic doses of Cadmium, Mercury and combined Cadmium and Mercury. *Afr. J. Biotechnol.*, 12: 3731-3737.
- Hounkpe J.B., Kelome N.C., Lawani R.A.N., Adechina A.R.M.A. (2017). État des lieux de la pollution des écosystèmes aquatiques au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Larhyss J.*, 30: 149-171.
- Irié Bi T. J-G., Aka N., Kando A. M-L., Coulibaly A.S., Monde S. (2019). Enrichissement des sédiments de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) en éléments traces métalliques (ETM): influence sur la qualité des sédiments et les organismes benthiques. *J. Appl. Biosci.*, 142: 14448 – 14463.
- Issola Y., Kouassi A.M., Dongui B.K., Biemi J. (2008). Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Afr. sci.*, 04: 368 – 393.
- Jeff N.K., Willy L.S., John T.M. (2021). Évaluation des teneurs en éléments traces métalliques (Cadmium et Plomb) dans l'eau, les sédiments et deux espèces de poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) dans le Pool Malebo (Fleuve Congo), RD Congo. *European Scientific J.*, 17: 174-192.
- Kaki C., Guedenon P., Kelome N., Etorh P.A., Adechina R. (2011). Evaluation of heavy metals pollution of Nokoué lake. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, 5: 255-261.
- Kamal E.H. (2006). Nouvelles conceptions d'intégration des fibres creuses d'une membrane aux boues activées (BRM) dans le traitement des eaux usées de l'industrie des pâtes et papiers. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Eau. Université du Québec. 181p.
- Karim A., Gbaguidi A., Saizonou K., Dovonon L., Laly G., Moussa A., Azokpota E., Seby F., Donard O., Soclo H. (2023). Distribution of 26 metals in the waters of the aquatic ecosystems of the Cotonou channel and lake Nokoué, Benin. *J. Mater. Sci. Chem. Engineering*, 11: 13-28.
- Khamar M., Bouya D., Ronneau C. (2000). Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Qual. Res. J. Canada*, 35: 147- 161.
- Kim S.G., Chung D. K. P., Suck W. J., Lee J. S., Kim S. S., Chung M. H. (2008). Effects of Dietary Benzo[a]pyrene on growth and hematological parameters in juvenile Rockfish, *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf). *Environ. Toxicol. Chem.*, 81: 470–474.
- Kpiagou P., Tchegueni S., Boguido G., Sama D., Gnandi K., Tchando T., Glitho A.I. (2022). Évaluation de la pollution des ressources en eau du bassin versant de Didagou (Dapaong, Nord-Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16: 481-497.
- Lalèye, P.A. (1995). Écologie comparée de deux espèces de Chrysiisthys, poissons siluriformes (claroteidae) du complexe lagunaire Lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège (Belgique), 152p.
- Lalèye P., Chikou A., Wumenou T. (1997). Poissons d'eaux douces et saumâtres du Bénin: Inventaire, distribution, statut et conservation. Inventaire des poissons menacés de disparition du Bénin. Rapport d'étude. Ambassade Royale des Pays-Bas, Cotonou (Bénin), 80p.
- Lalèye P., Niyonkuru C., Moreau J.G.G. Teugels S. (2003). Spatial and seasonal distribution of the ichthyofauna of lake Nokoué, Bénin, West Africa. *Afr. J. Aquat. Sci.*, 28: 151-161
- Le Du-lacoste M. (2008). Étude des phénomènes de biotransformation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par les organismes aquatiques (poissons): relation exposition génotoxicité. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 398p.
- Lee R.F. (1993). Passage of xenobiotics and their metabolites from hepatopancreas into ovary and oocytes of blue crabs, *Callinectes sapidus*: Possible implications for vitellogenesis. *Mar. Environ. Res.*, 35: 181-187.
- Mama D., Aina M., Alassane A., Boukari O.T., Chouti W., Deluchat V., Bowen J., Afouda A., Baudu M. (2011). Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 2076-2093.
- Mansour S. A. (2009). Persistent organic pollutants (POPs) in Africa: Egyptian scenario. *Human Experimental Toxicol.*, 28: 531–566.
- Marchand M., Martin J.L. (1985). Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanographie Tropicale*, 20: 25-39.
- Marty G.D., Hose J.E., McGurk M.D., Brown E.D., Hinton D.E. (1997). Histopathology and cytogenetic evaluation of Pacific herring larvae exposed to petroleum hydrocarbons in the laboratory or in Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spill. *Can. J. Fish. Aquat.*, 54: 1846–1857.
- Maslin J.-L., Bouvet Y. (1986). Le lac Ahémé (Bénin): Présentation du milieu, caractéristiques mésologiques, nature des fonds et distribution des peuplements malacologiques. *Oikos*, 46: 192-202.
- Matti V., Raimo P. (2019). Multigenerational and transgenerational effects of dioxins. *Int. J. Mol. Sci.*, 20: 2947
- Mavura W.J., Wangila P.T. (2003). The pollution status of lake Nakuru, Kenya: heavy metals and pesticides. *Afric. J. Aquat. Sci.*, 114:13-18.
- Mawussi G. (2008). Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherches d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei ferrari*). Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse.

- Menard L., Escarné R., Marcogliese D.J., Cyr D., Fournier M., Gagné F. (2010). The impacts of urban pollution on the immune system of spottail shiners (*Notropis hudsonius*) in the St. Lawrence river, *Fresenius Environ. Bull.*, 19: 1369-1374.
- Monosson E. (2000). Reproductive and developmental effects of PCBs in fish: a synthesis of laboratory and field studies. *Rev. Toxicol.*, 3: 25-75.
- Monteverdi G.H., Di Giulio R.T. (2000). Oocytic accumulation and tissue distribution of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and benzo[a]pyrene in gravid *Fundulus heteroclitus*. *Environ. Toxicol. Chem.*, 19: 2512-2518.
- Moslem M., Zohreh R., Javid I., Abbas M., Tahsin R. (2019). Water Quality Assessment of the Zarivar Lake Using Physico-chemical Parameters and NSF-WQI Indicator, Kurdistan Province-Iran. *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res.*, 7: 87-97.
- Naz S., Chatha A.M.M. (2022). Metals mixture effects on growth performance and their bioaccumulation in fish. *Iranian J. Fisheries Sci.*, 21: 605-618.
- Oberdörster E., Brouwer M., Hoexum-Brouwer T., Manning S., McLachlan J.A. (2000). Long-term pyrene exposure of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*, affects molting and reproduction of exposed males and offspring of exposed females. *Environ. Health Persp.*, 108: 641-646.
- Ogotu -Ohwayo R., Hecky R.E., Cohen S.A., Kauf L. (1997). Human Impacts on the African Great lakes. *Environ. Biol. Fish.*, 50: 117-137.
- Okoumassoun L.E., Brochu C., Deblois C., Akponan S., Marion M., Averill-Bates D., Denizeau F. (2002). Vitellogenin in tilapia male fishes exposed to organochlorine pesticides in Ouémé River in Republic of Benin. *Sci. Tot. Environ.*, 299: 163-172.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture: recommandations à visées sanitaires. Rapport technique n°778, Genève.
- OMS (2005). Liste provisoire des principales espèces de poissons faisant l'objet d'un commerce international (y compris propositions concernant des concentrations maximales de plomb dans différentes espèces de poissons), Trente-septième session, La Haye, Pays-Bas, 4p.
- OMS (2014). Surveillance de la qualité de l'eau de boisson. OMS: Genève, 1977; 143 p.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4^e Édition, Genève, Suisse, 539 p.
- Ouattara A.A., Sangaré N., N'goran K.P.A., Yao K.M., Trokouey A., Diaco T. (2021). Évaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'zi, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 15: 2199-2208.
- 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*, 14(2).
- Patel M.R., Scheffler B.E., Wang L., Willett K.L. (2006). Effects of benzo(a)pyrene exposure on killifish (*Fundulus heteroclitus*) aromatase activities and mRNA. *Aquat. Toxicol.*, 77: 267-78.
- Rocha Monteiro P.R., Reis-Henriques M.A., Coimbra J. (2000). Polycyclic aromatic hydrocarbons inhibit *in vitro* ovarian steroidogenesis in the flounder (*Platichthys flesus* L.). *Aquat. Toxicol.*, 48: 549-559.
- Roche H., Tidou A., Persic, A. (2007). Organochlorine pesticides and biomarker responses in two fishes *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803) and an invertebrate, *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklot, 1857), from the Lake Taabo (Côte d'Ivoire). *J. Appl. Sci.*, 7: 3860-3869.
- Rurangwa E., van den Berg J., Laleye P.A., van Duijn A.P., Rothuis A.P. (2014). Pêche Pisciculture et Aquaculture au Bénin. Un quick Scan du secteur pour des possibilités d'Interventions. Institute for, Marine Resources & Ecosystem Studies (IMARES): Wageningen; Rapport, E-Publication. Benin, 1-34.
- Saizonou J., Ouendo E.M., Agueh V., Tokplonou E., Makoutodé M. (2014). Évaluation de la qualité de la gestion des déchets biomédicaux solides dans la zone sanitaire Klouekanme-Toviklin-Lalo au Bénin. *J. Int. Santé Travail*, 1: 1-11.
- Saravpreet K., Kuldeep S. K., Jasjit K. K. (2018). Heavy metal induced histopathological alterations in liver, muscle and kidney of freshwater cyprinid, *Labeo rohita* (Hamilton). *J. Entom. Zool. Studies*, 6: 2137-2144.
- Satchi S.P.A., Yaou I.B. (2016). Evaluation of the knowledge and implementation of good hygiene practices by the riparian populations of Nokoué lake (South-Benin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10: 1823-1831.
- Soclo H.H. (2003). Étude de l'impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides par les populations riveraines sur les écosystèmes (eaux de surface, substrat des réserves de faune) dans les complexes des aires protégées de la Pendjari et du W. Rapport d'étude. Cotonou: Cenagref.
- Tabinda A.B., Hussain M., Ahmed I., Yassar A. (2010). Accumulation of toxic and essential trace metals in fish and prawns from Keti Bunder Thatter District, Sindh. *Pakistan J. Zool.*, 42: 631-638.
- Talisma K., Al-Emran Md., Rahman R.S., Hassan J., Ferdous Z., Rohani M.F., Shadjahan Md. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicol. Rep.*, 9: 858-868.
- Tarantini A. (2009). Modulation de la génotoxicité des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en mélanges. Thèse de doctorat en biologie de l'Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 175 p.
- Tossou E.S. (2001). Impact du trafic de produits pétroliers sur les écosystèmes lacustres: cas du lac Nokoué et de la lagune de Cotonou, Mémoire de DEA Université d'Abomey-Calavi, 111p.
- Villanueva M.C.S. (2004). Biodiversité et relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'Ouest: Adaptations aux pressions environnementales. PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 272 p.
- Vodougnon M.H.B. (2015). Impacts des activités anthropiques sur la qualité de l'eau et des poissons pêchés dans le complexe lagunaire Lac Nokoué - Lagune de Porto-Novo. Mémoire master en pêche et aquaculture. 83p.
- Wessel N., Rousseau S., Caisey X., Quiniou F., Akcha F. (2007). Investigating the relationship between embryotoxic and genotoxic effects of benzo[a]pyrene, 17[alpha]-ethinylestradiol and endosulfan on *Crassostrea gigas* embryos. *Aquat. Toxicol.*, 85: 133-142.
- Yèhouénou A.P.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. Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 217p.
- Yehouenou A., Pazou E, Laléye P., Boko M., Van Gestel C.A.M., Ahissou H., Akpona S., Van Hattum B., Swart K., Van Straalen N.M. (2006). Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Environ. int.*, 32: 616- 623.
- Yèhouénou E.A.P., Adamou R., Azéhoun P.J., Edoth 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. *Res. J. Chem. Sci.*, 3: 7.
- Yèhouénou E.A.P., Azéhoun P., Edoth P., van Straalen N.M., van Hattum B., van Gestel C.A.M. (2013). Health risks associated with pesticide residues in sediments, fish, and plants from the Ouémé valley in the Republic of Benin. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 65: 260-265.
- Youssao A., Soclo H.H., Bonou C., Vianou K., Gbaguidi M., Dovonon L. (2011). Evaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué – chenal de Cotonou par le plomb: cas des espèces *Sarotherodon melanothron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 595-602.
- Zoffoun Y.S.T. (2019). Évaluation de la contamination au mercure des sédiments et répartition des huîtres dans le complexe lagunaire chenal de Cotonou-lac Nokoué au Bénin. Rapport de fin de formation. EPAC- Aménagement et Protection de l'Environnement., 70p.