

Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inférieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zagnanado Et Ouinhi

Souradjou Orou Goura^{1*}, Fadéby Modeste Gouissi¹, Hotekpo Hervé Akodogbo², Nonvignon Martial Fassinou¹, Wakili Bolatito Yessoufou¹, Tayéwo Sylvain Biaou¹

¹Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), BP 123 Parakou, Bénin

²Université d'Abomey-Calavi (UAC), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC). Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), BP 526 Cotonou (Bénin)

*Auteur correspondant: Souradjou Orou Goura Téléphone: (+229) 90270908 ; E-Mail: souradjorou@gmail.com



Résumé – Dans le but d'évaluer le degré de pollution agricole des eaux de pêcheries de crevettes de l'Ouémé inférieur, des échantillons d'eau ont été collectés au niveau de trois stations (Ahlan, Aguigadji et Sele) considérées comme contaminées et d'une station témoin (Toho). Les échantillons d'eau ont été analysés au laboratoire afin d'évaluer les paramètres physico-chimiques, de doser les résidus de pesticides ainsi que les concentrations des métaux lourds contenus dans ces eaux. Ces échantillons ont été prélevés en saison pluvieuse en 2021 et en saison sèche en 2022 avec des répétitions chaque mois pendant trois mois de chaque saison. Les valeurs moyennes des concentrations de chaque paramètre ont été calculées pour chaque saison par le logiciel R. 7. 1. Parmi les paramètres physico-chimiques évalués, les éléments azotés et phosphorés ont montré une hausse significative des valeurs en saison pluvieuse par rapport à la saison sèche. Les concentrations obtenues sont supérieures à la norme de l'OMS au niveau des stations contaminées et moindre à la station témoin en saison sèche et pluvieuse. Quatorze (14) matières actives de pesticides dont l'Aldrine, Emamectine, Atrazine, Butachlor, dichloro diphenyl trichloroéthane (DDT), Abamectine, Lambda-Cyhalotrin, Isopropalamine, Cyperméthrine, Glyphosate, Imazethapyr, Endosulfan, Monocozèbe, Nicosulfuron ont été détectées en saison pluvieuses et huit (08) matières actives dont Aldrine, Emamectine, Atrazine, DDT, Lambda-Cyhalotrin, Abamectine, Glyphosate, Endosulfan ont été détectées en saison sèche. La matière active la plus représentative est celle du Glyphosate avec une valeur de $13,70 \pm 6,79 \mu\text{g/L}$ enregistrée en saison pluvieuse à la station d'Ahlan et présente également dans les autres stations. Cette valeur enregistrée est supérieure à la norme de l'OMS principalement au niveau des stations contaminées. Les matières actives les plus élevées qui sont détectées en saison sèche sont Abamectine, Emamectine et la Lambda-Cyhalotrin en dehors du Glyphosate et de l'Atrazine au niveau de toutes les stations contaminées et presque inexistantes à la station témoin. Les métaux lourds détectés dans les eaux de l'Ouémé inférieur sont Zn, Pb, Cd, As, Mg, Ni, Fe, Hg, Cu, Cr. En saison pluvieuse seul le Plomb et Zinc ont montré des concentrations supérieures aux normes de l'OMS. La majeure partie des éléments métalliques ont présenté des concentrations plus élevées en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les eaux de l'Ouémé inférieur ont présenté des concentrations moyennes élevées en Cadmium, Nickel, Manganèse et Arsenic dans les stations contaminées. La station témoin a été caractérisée par des concentrations moindres en métaux lourds et parfois inexistantes. Les terres agricoles autour des eaux, sont les sources principales des contaminants détectés dans les eaux entraînant ainsi la contamination de ces eaux et plus loin pourrait affecter les organismes aquatiques qui y vivent.

Mots clés – Paramètres Physico-chimiques, Pesticides, Métaux lourds, eaux, Ouémé inférieur, Bénin.

I. INTRODUCTION

L'une des ressources naturelles et la plus commune à tous les êtres vivants est l'eau. Elle représente une ressource très rare en terme de qualité car elle est habituellement exposée à diverses formes de pollution. De toutes ces pollutions, la pollution agricole attire l'attention du fait de ses actions néfastes sur la qualité et les fonctions des cours d'eau (Lawani et al 2017, Soro et al., 2018). Au Bénin, l'agriculture constitue la principale source de nourriture et de revenu. Elle est très pratiquée autour des plans d'eau et pendant la décrue dans les plaines inondables. Les populations agricoles, dans le souci d'accroître et d'intensifier leurs productions, augmentent les superficies cultivables, utilisent les engrais chimiques de synthèse, et les produits phytosanitaires, augmentant ainsi la dégradation des composantes environnementales en général et en particulier celles des écosystèmes aquatiques en milieu rural (Leigh et al., 2010 ; Sass et al., 2010). En effet, l'usage des pesticides et engrais chimiques entraînent des contaminations des eaux en premier dans l'environnement aquatique. D'après Agbohessi et al. (2013) seulement 0,1% des pesticides pulvérisés dans les champs atteignent leurs cibles et le reste se répartit dans les écosystèmes pour contaminer l'air, la terre et l'eau. Par ailleurs, les fertilisants inorganiques contiennent principalement le phosphate, le nitrate, l'ammonium, et le potassium. Les fertilisants industriels sont considérés être la principale source naturelle et potentielle de radionucléides et de métaux lourds. Ils contiennent la grande majorité des métaux lourds comme Hg, Cd, As, Pb, Cu, Ni, Cr qui se retrouvent dans le lit des cours d'eau. (FAO, 2009 ; Anim et al., 2011). La pollution agricole diffuse est l'une des plus grandes menaces pour la qualité des eaux de surface en milieu rural (Ntow et al., 2008). En effet, le ruissellement provenant des terres agricole introduit des volumes d'eau, des pesticides, des solides totaux dissous, des matières organiques, du fumier et des engrais, du sable dans les petits fleuves, augmentant le volumes des cours d'eau et modifiant leurs qualités (Neumann & Dudgeon, 2002). C'est le cas des eaux de l'Ouémé inférieur qui sont cernées par une diversité des productions agricoles et qui utilisent des engrais et des pesticides de toutes sortes. Une étude précédente révèle une diversité de modalités des contaminations de ces eaux à travers les pratiques d'utilisation de ces intrants (fertilisants et pesticides) par les agriculteurs de la zone d'étude; ce qui pourrait engendrer des retombés des résidus de pesticide et de métaux lourds dans les eaux. La présente étude vise à évaluer le niveau de contamination des eaux de l'Ouémé inférieur par les pesticides et les métaux lourds des stations de Aguigadji, Ahlan et Sele dans les communes de Kétou, Zagnanado et Ouinhi le long du fleuve Ouémé. Ces résultats seront comparés à une source d'eau considérée comme témoin pour ces études. Le but de ce travail est de fournir des informations sur le niveau réel de la contamination par les pesticides et les engrais chimiques tout en recherchant des traces de métaux lourds dans les eaux de surface de notre zone d'étude. Ce qui pourrait aider l'autorité publique dans la prise de décision concernant l'usage ou non, en l'état actuel, des eaux de surface de nos secteurs d'étude et se faire une idée sur la qualité des produits halieutiques qui en ressortent.

II. METHODOLOGIE

2.1. Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans l'Ouémé inférieur. L'Ouémé inférieur s'étend entre 8°15'-6°33' latitude nord et 2°00'-1°50' longitude-est. Ce bassin inférieur représente le déversoir de l'Ouémé supérieur et collecte toutes les eaux de l'amont du fleuve vers son delta (Lalèyè et al., 2004). Le fleuve traverse les communes de Kétou, Zagnanado et Ouinhi (Figure 1).

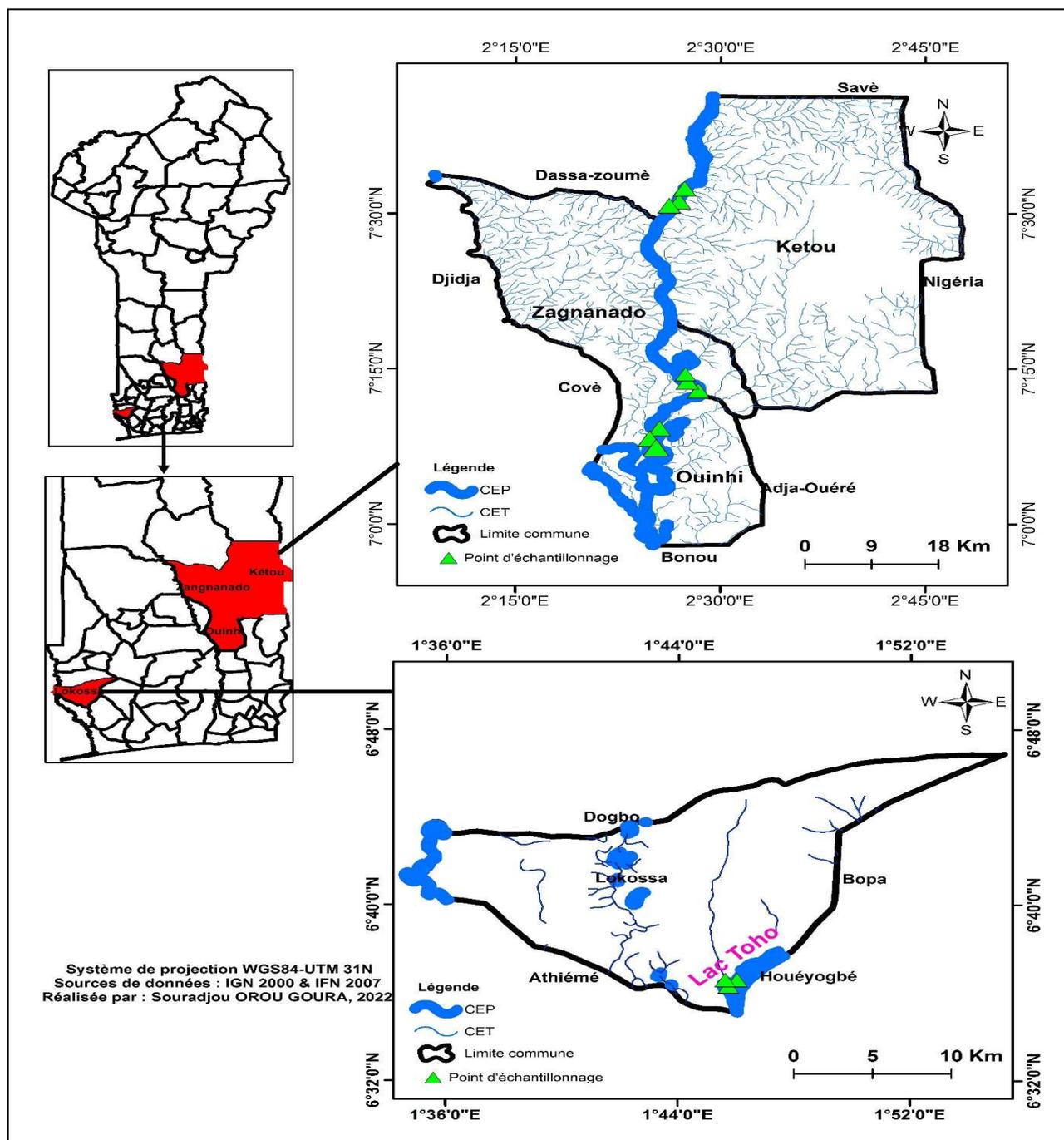


Figure 1: Milieu d'étude

Quatre stations ont été retenues. Trois stations considérées comme contaminées notamment la station de Aguiguadji localisée dans la commune de Kétou, la station d'Ahlan localisée dans la commune de Zagnanado et la station de Sagon située dans la commune de Ouinhi. Une autre station a été également choisie comme station témoin hors de la zone d'étude. Il s'agit du lac Toho dans le département du Mono (Figure 1). Toutes ces zones sont caractérisées par le même climat qui est de type soudano-guinéen, marqué par deux saisons de pluies (d'Avril à Juillet et d'Octobre à Novembre) et deux saisons sèche (d'Août à Septembre et de Décembre à Mars) (Hounsou et al., 2010).

2.2. Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des eaux des pêcheries de crevettes :

- Station d'Aguigadji : 7°28'60''N et 2°25'60''E
- Station d'Ahlan: 7°12'55''N et 2°28'12''E
- Station de Sagon: 7°09'23'' N et 2°25'34''E
- Station de Toho: 6°36'0'' N et 1°46'60'' E

2.3. Echantillonnage

Deux séries de prélèvements d'échantillons et de mesures ont été effectués l'une sur trois mois (Mai-Juin-Juillet) en saison pluvieuse de l'année 2021 et l'autre de trois mois (Janvier-Février-Mars) en saisons sèche de l'année 2022. Les échantillons d'eau ont été prélevés avec des bouteilles en verre ambrées préalablement lavées et décontaminées. En suivant les procédures normalisées, les échantillons ont été recueillis en tenant la bouteille de prélèvement et en la plongeant dans l'eau jusqu'à ce qu'elle soit entièrement immergée. Pour chaque échantillon trois (3) prélèvements d'un volume de 0,5L d'eau chacun ont été effectués à trois différents endroits, l'un (01) au milieu et les deux (02) autres en s'éloignant vers les rives des cours d'eaux. Les prélèvements ont ensuite été mélangés formant un seul échantillon composite de 1,5L à chaque mois, sur chaque station et soit pour les pesticides, les métaux lourds ou les autres paramètres physico-chimiques. Une feuille d'aluminium a été placée sur le goulot des bouteilles afin d'empêcher tout contact entre l'échantillon et le bouchon de plastique. Ces échantillons ont chaque fois ensuite été automatiquement étiquetés et conservés à 4°C avec de la glace dans une glacière puis convoyés dans les divers laboratoires pour les analyses chimiques. Les paramètres physiques ont été évalués *in situ*.

Ainsi à chaque mois nous avons quatre (4) échantillons d'eau pour chaque groupe de paramètres à identifier soit un total de 12 douze échantillons en trois (3) mois. Un total de 24 échantillons (12 en saison sèche et 12 en saison pluvieuse) ont donc été collectés pour les mesures physico-chimiques, 24 échantillons pour les mesures de métaux lourds et 24 autres pour les mesures de pesticides.

- Les 24 échantillons d'eau pour les mesures physico-chimiques ont été acheminés au laboratoire HECOTES à l'université d'Abomey-Calavi.
- Les 24 échantillons d'eau pour les mesures de pesticides et les 24 autres pour les mesures de métaux lourds ont été convoyés respectivement dans le laboratoire d'analyses de pesticides et dans le laboratoire de chimie générale au centre des normes GSA (Ghana Standard Authority) de Accra au Ghana.

Une fois au laboratoire les échantillons ont été codés avant la mise au frais à nouveau dans un réfrigérateur.

2.4. Méthodes d'analyse des échantillons

2.4.1. Analyses au laboratoire

2.4.1.1. Paramètres physico-chimiques

Les mesures des paramètres physiques et de l'oxygène dissous de l'eau de surface notamment la température, le pH, la transparence, la conductivité électrique ont été mesurés *in situ* dans les eaux des cours d'eau entre 06h00 et 10h30 dans les matinées. Le GPS a été utilisé pour prendre les coordonnées géographiques des différents sites de prélèvement, le pH-mètre pour mesurer le potentiel d'hydrogène et la température de l'eau, un Oxymètre pour mesurer l'oxygène dissous de l'eau, un conductimètre pour mesurer la conductibilité, et le TDS de l'eau. Les autres paramètres tels que la salinité, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, l'azote total et le phosphore total, le phosphate, le potassium, la dureté calcique, la dureté magnésium, le chlorure, la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène pour 5 jours (DBO5) ont été mesurés au laboratoire. Au laboratoire le spectromètre DR 6000 a été utilisé pour les différents paramètres chimiques évalués à travers des méthodes spécifiques à chacun d'eux. Particulièrement la DBO5 et la DCO ont été déterminées par la méthode colorimétrique.

2.4.1.2. Résidus de pesticides

Trente (30) matières actives ont été recherchées. Il s'agit de : Aldrine, Abamectine, Acetamipride, Atrazine, Buthaclor, Chlordane-gamma, Lambda Cyhalothrine, DDD, DDT, Cyperméthrine, Chlorpyrifos éthyle, Emamectine, Deltaméthrine,

Dieldrine, Endosulfan, Endrine, Imazethapyr, Fenthion, Glyphosate, Heptachlore, Isopropalamine, Lindane, Malathion, Monocozèbe, Nicosulfiron, Oxyfluorène, Parathion, Pendiméthaline, Permethrine, Propisochlor.

Les techniques d'analyse utilisées étaient celles du laboratoire national Ghana Standard Authority (GSA/Ghana) qui se présentent comme suit. Dans les échantillons d'eau, l'extraction consiste à filtrer l'échantillon à travers un papier filtre pour éliminer les débris et les particules solides. Ensuite transférer 1 L de l'échantillon d'eau dans une ampoule à décanter d'une capacité de 2 L et ajouter 30 ml de solution saturée de chlorure de sodium. Séparer l'échantillon d'eau avec 100 ml de dichlorométhane en agitant vigoureusement l'ampoule à décanter contenant l'échantillon pendant 2 à 3 minutes et en relâchant la pression par intermittence. Laisser les couches se séparer et drainer la couche d'extrait de dichlorométhane. Répéter le processus de séparation deux fois de plus, en recueillant à chaque fois la phase organique dans un ballon à fond rond. Veiller à ce que l'échantillon soit filtré sur un papier filtre contenant une quantité de sulfate de sodium suffisante pour permettre le piégeage de l'humidité qui a pu s'écouler avec la phase organique. Combiner les trois extraits de couches de dichlorométhane et concentrer à environ 2 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide pour la chromatographie en phase gazeuse.

Une phase de purification de l'extrait s'ensuit et consiste d'abord à conditionner une cartouche de silice (1000 mg/6 ml) contenant une couche de 0,3 g de sulfate de sodium avec (10 ± 0,2 ml) de dichlorométhane et charger l'extrait de l'échantillon sur la cartouche et recueillir l'éluant dans un ballon à fond rond de 100 ml. Ensuite éluer la colonne avec 20 ml de dichlorométhane et concentrer l'éluant recueilli jusqu'à siccité à l'aide de l'évaporateur rotatif à une température inférieure à 40 °C. En outre, redissoudre l'extrait d'échantillon presque sec dans 1 ml d'acétate d'éthyle et ajouter 20 µl de polyéthylène glycol à 1% dans l'acétate d'éthyle (v/v). Puis enfin transférer l'extrait dans un flacon à ouverture standard de 2 ml pour la quantification par GC-ECD et GC-PFPD.

2.4.1.3. Métaux lourds

Au laboratoire National Ghana Standard Authority GSA, des analyses Multi-traces de métaux lourds ont été réalisées pour déterminer les teneurs dans les matrices eaux. Il s'agit de deux méthodes spectrométriques ; une de la loi ISO 8288 pour Mercure (Hg), le Cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le Chrome (Cr), le Zinc (Zn), l'Arsenic (As) et le Nickel (Ni) et l'autre de la loi ISO 6332 pour la détection du Fer (Fe) particulièrement.

2.5. Analyse statistiques

Les données ont été saisies dans un tableau Excel 2013 et soumis au logiciel R. 7.1 puis à un test ANOVA à une variable afin de calculer les moyennes et Ecart type et de faire ressortir les variations possibles entre les stations en saison sèche et pluvieuse.

III. RESULTATS

3.1. Paramètres Physico-chimiques des eaux des stations d'étude en saison sèche et pluvieuse

L'analyse des eaux a mis en évidence des valeurs qui ont été combinées pour faire ressortir des valeurs moyennes par saison (pluvieuse et sèche) sur chaque site de prélèvement. Le tableau 1 présente les concentrations moyennes des paramètres mesurés de chaque station en saison pluvieuse et en saison sèche dans les stations d'étude de l'Ouémé inférieur. Afin d'évaluer le niveau de qualité des eaux, une normativité suivant les normes recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé de 2022) a été prise en compte.

Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inférieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zagnanado Et Ouinhi

Tableau 1 : Résultats saisonniers des paramètres physico-chimique des eaux des stations de l'Ouémé inférieur

Paramètres	Aguigadji		Ahlan		Sele		Toho	
	Saison pluvieuse	Saison sèche						
(°C)	27,96±0,68ab	31,36±0,90b c	27,6±1,71a	32,23±0,46 c	27,83±1,24a	28,33±0,83 ab	27,3±0,80a	29,83±0,98a c
Trans	13,82±0,81a	18,16±1,34b	13,65±1,02a	16,81±2,38 b	18,20±0,93a	21,53±3,12 b	25,07±3,90a	32,80±5,12b
pH	7,16±0,52a	7,2±0,397a	7,15±0,54a	7,18±0,18a	7,20±0,53a	6,86±0,05b	7,07±0,59a	7,18±0,18a
CE (µS/cm)	633,33±253,60a	647±248,56 a	534,23±298,78a	455,63±84,09b	702,46±226,61a	462,23±74,73b	90,95±20,17 a	116,28±4,53 b
STD (mg/L)	316,74±126,78a	323,54±124,21a	267,56±149,99a	227,99±41,93b	351,13±113,27a	230,72±37,07b	45,55±10,17a	58,14±2,26b
OD (mg/L)	7,66±1,68a	6,52±0,46a	6,20±0,40a	6,86±0,575 a	6,22±0,54a	6,09±0,415 a	6,95±2,94a	9,92±0,79a
Salinité (‰)	0,0003±0,0004a	0,003±0,004 a	0,0006±0,002a	0,03±0,04b	0,002±0,003 a	0,003±0,004 a	0,0006±0,0009a	0,0003±0,0004b
NT (mg/L)	57,67±20,67a	47,67±12,68 b	58,68±14,36 a	52,01±14,97a	60,71±22,07 a	50,71±25,68b	7,34±3,08c	9,34±5,30c
NO ₃ ⁻ (mg/L)	56±7,7b	55,66±5,79b	60,33±11,46 a	45,33±4,71 c	53,33±9,46b	59,33±10,20b	7,003±2,45d	15±0,816c
NO ₂ ⁻ (mg/L)	4,33±1,24ab	8,66±1,24b	8,33±3,39ab	13,81±7,50 b	7,34±3,85ab	10,80±1,97 a	1,66±0,47ab	2,08±0,52b
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,18±1,001a	1,496±0,648 b	3,51±2,06a	2,15±0,905 b	2,87±1,90a	1,976±0,52 b	0,04±0,03a	0,02±0,009a b
PT (mg/L)	6,43±0,59ac	5,098±2,09a b	6,78±2,06bc	13,12±3,57 cd	5,12±2,07ab	15,11±2,07 d	0,04±0,03a	0,041±0,03a
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	3,098±0,81ab	3,38±0,96ab	3,45±0,45ab	5,73±2,61b	4,12±0,70ab	7,05±2,18b	0,008±0,004 a	0,028±0,01a b
Ca ²⁺ (mg/L)	175,70±89,34a	82,78±5,196 b	155,92±95,41a	27,11±10,22b	196,45±67,69b	80,43±8,53 a	8,81±4,22a	0,61±0,14b
Cl ⁻ (mg/L)	27,03±10,12a	73,46±20,44 b	31,6±8,92a	97,9±6,23b	92,4±3,18b	70,6±5,37a	1,26±0,84a	2,29±0,98b
Mg ²⁺	72,10±30,45	18,99±1,939	76,36±19,00	28,10±9,92	81,70±5,94c	15,58±4,71	4,003±1,47a	0,54±0,20b

Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inférieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zagnanado Et Ouinhi

(mg/L)	bc	a	c	ab	a			
DCO (mg/L)	26,17±5,54a	64,25±23,03	68,26±51,86	45,7±2,50a	55,76±1709	62,1±5,31b	8,86±4,78ab	2,33±2,43b
		b	b		a			
DBO5 (mg/L)	25,50±6,44bc	52,91±7,38d	24,93±9,95a	32,36±11,9	25,76±7,502	30,76±4,54	0,43±0,47a	2,46±1,37ab
			c	0cd	bc	cd		

(°C: Température de l'eau, Trans : Transparence, CE : Conductibilité électrique, OD Oxygène dissous, Sal : Salinité, STD Solide totaux dissous, PO₄³⁻ phosphore, NO₃⁻ : ion nitrate, NO₂⁻ : ion nitrite, NH₄⁺ : ammonium ; NT : Azote Total; PT : Phosphore Total; Ca²⁺ : Calcium ; Mg²⁺ : Magnésium ; DCO : Demande chimique en Oxygène et DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pour 5 jours.

L'un des premiers paramètres mesurés sur le terrain a été la température. Les eaux n'ont pas montré de grandes différences de valeurs entre la saison pluvieuse et la saison sèche (Tableau1) à l'exception de la station d'Ahlan où la température a montré une différence significativement plus grande en saison sèche ($p < 0.05$) par rapport à la saison pluvieuse avec une plus grande température de 32,7°C enregistrée dans le mois de Mars.

Les mesures de la transparence au niveau des stations de Aguigadji, Ahlan, Sele et Toho ont montré une différence significativement plus élevée en saison sèche au niveau de toutes ces stations ($p < 0.05$). De plus les niveaux de transparence de l'eau ont aussi été significativement plus élevés ($p < 0.05$) à la station Toho (témoin) par rapport aux autres stations en saison pluvieuse comme en saison sèche. Le pH de l'eau des stations n'a montré aucune différence significative saisonnière ($p > 0.05$) au niveau des stations à l'exception de la station de Sele où le niveau du pH a été significativement bas ($p < 0.05$) en saison sèche.

Quant à la conductibilité électrique, elle a montré des valeurs significativement différentes en saison sèche comme en saison pluvieuse au niveau de toutes les stations ($p < 0.05$). Néanmoins ces valeurs restent en dessous des normes fixées par l'OMS ($< 1500\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les eaux potables. De plus la station Toho (Témoin) présente des valeurs moyennes de concentration significativement faibles par rapport aux autres stations ($p < 0.05$) en saison sèche comme pluvieuse.

En ce qui concerne les Solides Totaux dissous (STD), les valeurs enregistrées sont toutes inférieures aux normes fixées par l'OMS ($< 600 \text{ mg/L}$) en toutes saisons. Aucune différence significative n'a été observée au niveau de la station d'Aguigadji pendant la saison sèche et la saison pluvieuse ($p > 0.05$).

Egalement pour ce qui est de l'Oxygène Dissous (OD), les valeurs enregistrées sont comprises dans l'intervalle fixé par l'OMS sauf au niveau du lac Toho où les valeurs sont comprises entre 8,91 et 10,86 mg/L avec une concentration moyenne de 9,92±0,79 mg/L. La salinité a présenté des valeurs relativement faibles très proches de 0‰ compte tenu des caractéristiques des eaux qui sont des eaux douces.

Parmi les fertilisants recherchés dans les eaux de l'Ouémé inférieur, en premier lieu figure l'Azote Total qui est un paramètre important dans la pollution des eaux. Les analyses de l'azote ont présenté des valeurs significativement plus grandes en saison pluvieuse qu'en saison sèche ($p < 0.05$) au niveau de toutes les stations contaminées. Ces valeurs ont été significativement supérieures aux valeurs enregistrées à la station témoin (Toho) en saison sèche et en saison pluvieuse ($p < 0.05$). Les autres éléments azotés mesurés sont en premier lieu le nitrate (NO₃⁻). Ce paramètre n'a montré aucune différence significative ($p > 0.05$) au niveau des stations de Aguigadji et Sele contrairement autres stations entre la saison sèche et pluvieuse. Les concentrations moyennes sont supérieures à la norme fixée par l'OMS ($< 50 \text{ mg/L}$) au niveau de toutes les stations dites contaminées contrairement à la valeur moyenne calculée en saison sèche à la station de Ahlan qui n'a pas excédé la limite. Les valeurs moyennes calculées au niveau de la station témoin sont en-dessous de la norme. La transformation du Nitrate conduit la formation des ions Nitrite (NO₂⁻). Les valeurs du nitrite ont montré une différence significative ($p < 0.05$) au niveau de toutes les stations. Les concentrations moyennes calculées sont en dessus de la norme fixée par l'OMS ($< 3 \text{ mg/L}$) au niveau de toutes les stations dites contaminées contrairement à la station témoin. Un autre élément azoté est l'Ammonium (NH₄⁺). Les valeurs des ions ammonium enregistrées dans les stations sont significativement supérieures en saison pluvieuse qu'en saison sèche au niveau de

toutes les stations ($p < 0.05$). Par ailleurs, il faut noter que les valeurs des différents paramètres ont été significativement faibles ($p > 0.05$) au niveau de la station Toho comparativement à toutes les autres stations en saison pluvieuse comme en saison sèche. Quant aux concentrations calculées, elles sont également supérieures par rapport aux normes de l'OMS (0,2 mg/L) dans toutes les stations contaminées et inférieures à la station témoin (Toho). Ces valeurs élevées des concentrations dans les stations contaminées viennent prouver la pollution azotée des eaux de l'Ouémé inférieur et qui croît ou diminue d'une saison à une autre selon les stations.

Un autre polluant très important est le Phosphore Total (PT). Les analyses ont montré une différence significative entre la station témoin (Toho) et les stations dites contaminées (Aguigadji, Ahlan, Sele) ($p < 0.05$) en saison sèche comme en saison pluvieuse. Par ailleurs au niveau des stations contaminées, des différences significatives se remarquent allant d'une saison à une autre ($p < 0.05$). Aucune différence significative n'a été constatée au niveau de la station témoin allant d'une saison à une autre ($p > 0.05$). De l'analyse des ions Phosphate (PO_4^{3-}) et du Phosphore, total aucune différence significative ($p > 0.05$) saisonnière n'a été observée au niveau des stations d'Aguigadji et de Toho contrairement aux stations d'Ahlan et de Sele où les différences sont significativement basses en saison pluvieuse ($p < 0.05$). De plus une différence significative saisonnière existe entre chacune de toutes les stations dites contaminées par rapport à la station témoin (Toho) ($p < 0.05$). Les concentrations moyennes sont supérieures à la norme de l'OMS (2 mg/L) sur toutes les stations à l'exception de la station témoin (Toho).

Les niveaux de concentration de Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}) et de Chlorure (Cl^-) ont également été mis en évidence dans les échantillons d'eaux. Pour le Calcium, les analyses ont montré une différence significativement supérieure en saison pluvieuse au niveau de toutes les stations allant d'une saison à une autre ($p > 0.05$). Les valeurs du Magnésium sont significativement plus grandes en saison pluvieuse qu'en saison sèche ($p < 0.05$) au niveau de toutes les stations. Quant au Chlorure, les valeurs enregistrées ont présenté une différence significative au niveau de toutes les stations en saison sèche comme en saison pluvieuse ($p < 0.05$). Quant aux stations de Aguigadji et Ahlan, des différences saisonnières ont été significativement plus élevées en saison sèche ($p < 0.05$). Pour ce qui est du Calcium, Magnésium et du Chlorure les concentrations moyennes sont inférieures aux normes fixées par l'OMS.

Les résultats des analyses de la DCO et de la DBO5 ont montré pour la DCO une différence significativement supérieure en saison pluvieuse au niveau des stations d'Ahlan et Toho contrairement aux stations d'Aguigadji et de Sele où les valeurs sont significativement plus grandes en saison sèche. En ce qui concerne les valeurs de la DBO5, en saison pluvieuse, elles ont été significativement basses au niveau de toutes les stations ($p < 0.05$). Les valeurs moyennes de la DCO sont inférieures à la valeur limite de l'OMS (90 mg/L) au niveau de toutes les stations contrairement à la DBO5 où elles sont supérieures à la valeur limite (25 mg/L) au niveau de toutes les stations dites contaminées à l'exception de la concentration moyenne calculée en saison pluvieuse à la station de Ahlan qui est $24,93 \pm 9,95$ mg/L. Les valeurs de la station témoin sont inférieures à la valeur limite de l'OMS.

3.2. Résidus de pesticides des eaux des stations d'étude en saison sèche et pluvieuse

Les résultats issus des analyses ont montré la contamination des eaux de ces stations en résidus de matières actives de pesticides. Le Tableau 2 présente les teneurs moyennes en résidus de pesticides trouvés dans les eaux de pêcheries de crevettes de l'Ouémé inférieur et de la station témoin en saison pluvieuse (Figure 2) et en saison sèche (Figure 3).

Tableau 2 : Concentrations moyennes des résidus de pesticides (moyenne ± écart-type) de l'eau (µg/L) identifiés dans chaque station en saison pluvieuse et en saison sèche

Substances détectées	Aguigadji	Ahlan	Sélé	Toho	Limite OMS (µg/L)
SAISON PLUVIEUSE					
Aldrine	0,02±0,012a	0,04±0,031a	nd	nd	0,03
Emamectine	0,016±0,006a	0,11±0,05ab	0,06±0,03a	nd	-
Atrazine	4,78±1,26b	6,73±1,25b	0,04±0,037b	nd	-
Butachlor	0,07±0,02ab	0,06±0,04ab	0,12±0,07b	nd	-
DDT	3,13±1,001ab	7,76±4,99ab	9,75±5,87b	0,001±0,0006a	1
Abamectine	0,24±0,11ac	0,37±0,30ac	0,019±0,007ab	nd	-
Lambda-Cyhalotrin	0,33±0,34ab	0,31±0,17ab	0,53±0,24ab	0,0013±0,002a	-
Isopropalamin e	0,0023±0,002a	0,03±0,03a	0,0003±0,0003a	nd	-
Cyperméthrine	0,12±0,08b	0,06±0,05ab	0,13±0,05b	nd	-
Glyphosate	7,98±2,26bc	13,70±6,79c	5,19±2,95ab	0,03±0,014ab	0,1
Imazethapyr	0,06±0,035a	0,039±0,03a	nd	nd	-
Endosulfan	2,07±1,15bc	3,07±0,90c	0,06±0,044a	nd	0,50
Monocozèbe	0,0002±0,0001a	nd	0,001±0,001a	nd	-
Nicosulfiron	0,04±0,031a	0,04±0,014a	0,04±0,02a	nd	-
SAISON SECHE					
Aldrine	0,02±0,005a	0,03±0,02a	nd	nd	0,03
Abamectine	1,11±0,82bc	1,12±0,012c	1,10±0,004bc	nd	-
Emamectine	1,013±0,004ac	1,37±0,57bc	1,72±1,15c	nd	-
Atrazine	3,40±1,25a	3,05±0,82a	0,01±0,004a	nd	-
DDT	0,1±0,026a	0,09±0,005b	0,094±0,005a	nd	1

Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inférieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zagnanado Et Ouinhi

Lambda-Cyhalotrin	2,77±0,93c	3,11±0,80c	1,77±0,05bc	nd	-
Glyphosate	1,88±0,49ab	2,11±1ab	2,77±1,53ab	0,0014±0,0004c	0,1
Endosulfan	0,46±0,38a	0,64±0,20ab	0,02±0,022b	nd	0,50

nd : non détecté

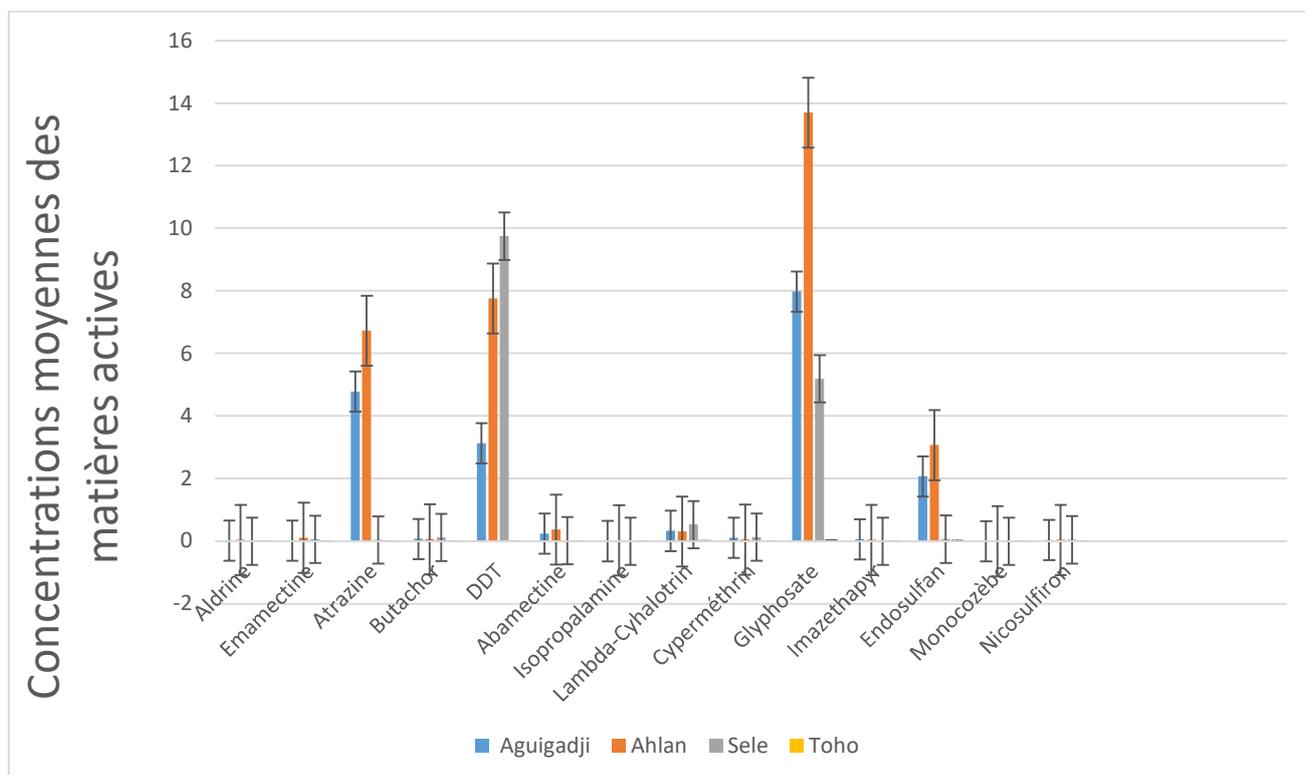


Figure 2: Proportion en résidus de pesticides en saison pluvieuse

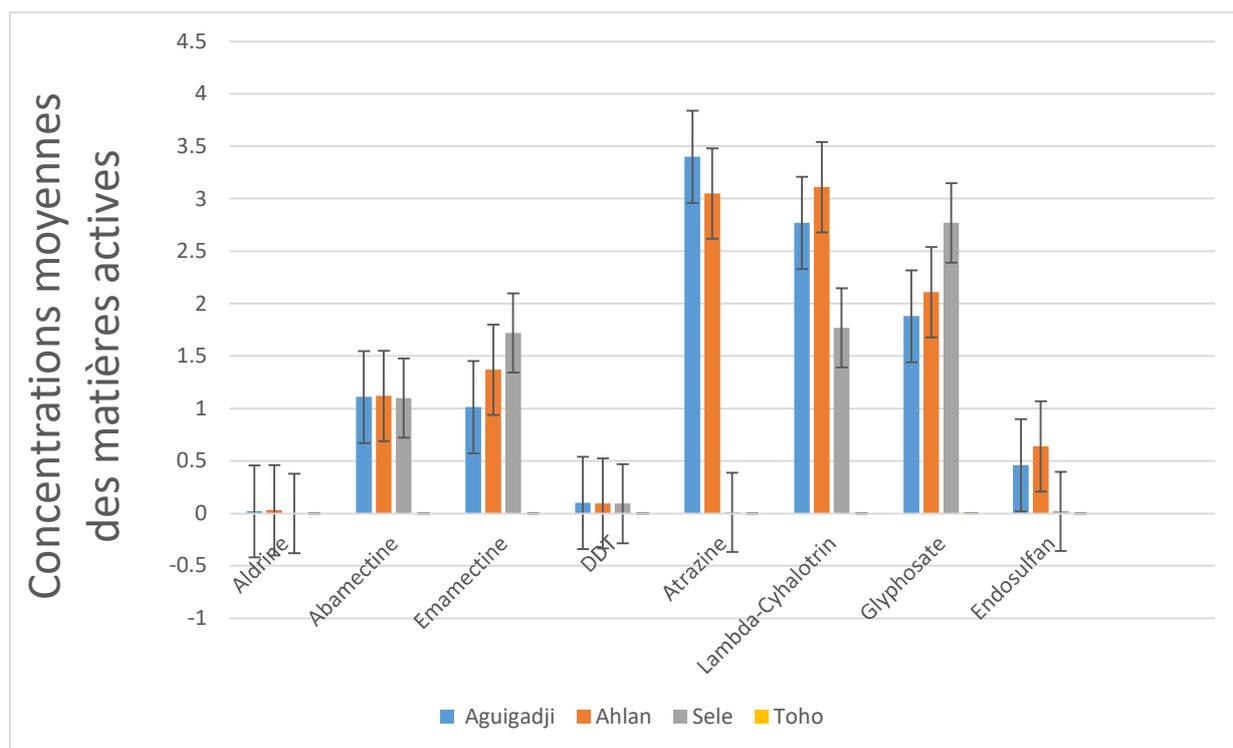


Figure 3 : Proportion en résidus de pesticides en saison sèche

Quatorze (14) matières actives de pesticides ont été détectées notamment l'Aldrine, Emamectine, Atrazine, Butachlor, dichloro diphenyl trichloroéthane (DDT), Abamectine, Lambda-Cyhalotrin, Isopropalamine, Cyperméthrine, Glyphosate, Imazethapyr, Endosulfan, Monocozébe, Nicosulfiron en saison pluvieuses (Figure 2, Figure 3) et huit (08) matières actives dont Aldrine, Emamectine, Atrazine, DDT, Lambda-Cyhalotrin, Abamectine, Glyphosate, Endosulfan, en saison sèche (Tableau 2). On remarque une réduction du nombre de matière active en saison sèche. Ceci pourrait être dû à la réduction considérable des activités agricoles et par conséquent la réduction de l'utilisation des pesticides pendant cette période. Pendant la saison pluvieuse la détection des matières actives dans les eaux pourrait être justifiée par une introduction à travers divers mécanismes dont le drainage, le ruissèlement et les dépôts à partir des espaces de cultures dans les bassins versants et la proximité des stations, sans oublier certaines pratiques telle que la mise en culture des parcelles dans les lits de ces cours d'eau. En effet, au moment des applications, les pesticides seraient retenus par le sol puis relâchés et transportés par le ruissellement ou les drains vers les cours et plans d'eau.

En saison pluvieuse la matière active la plus représentée est le Glyphosate (Figure2). Les valeurs enregistrées en saison pluvieuse ont montré une différence significativement plus grande par rapport à celles enregistrées en saison sèche ($p < 0.05$) au niveau de toutes les stations. De plus il existe une différence significative entre les valeurs des stations dites contaminées (Aguigadji, Ahlan, Sele) par rapport à celles enregistrée à la station témoin (Toho) ($p < 0.05$). Les concentrations moyennes calculées sont supérieures aux normes limites de l'OMS ($0,1 \mu\text{g/L}$) au niveau des stations dites contaminées contrairement à la station témoin (Toho) où elles sont en dessous de la valeur limite pendant toutes les saisons. Les autres matières actives les plus représentatives en saison pluvieuse sont le DDT, l'Endosulfan et l'Atrazine (Figure 2). Le DDT a présenté des valeurs significativement supérieures en saison pluvieuse qu'en saison sèche; puis des valeurs supérieures aux stations dites contaminées par rapport au témoin durant toutes les saisons ($p < 0.05$). Les valeurs moyennes ont été supérieures à la norme fixée par l'OMS ($1 \mu\text{g/L}$) en saison pluvieuse mais sont restées en dessous de la limite en saison sèche sur toutes les stations. Les matières actives comme le DDT et l'Aldrine ne figuraient pas parmi les matières actives inventoriées dans la même zone d'étude au cours de la même année dans une étude précédente. Ces substances pourraient provenir d'une part d'un drainage des eaux de l'amont préalablement contaminées par ces matières utilisées dans les champs en amont ou d'autre part d'une utilisation antérieure de cette substance

active selon du fait de leur persistance dans l'environnement. Toutefois certains pesticides, les plus anciens et les moins onéreux peuvent persister pendant des années dans le sol et l'eau.

Quant à l'Endosulfan et à l'Atrazine, elles ont été détectés uniquement dans les stations de Aguigadji, Ahlan et Sele (stations contaminées) aussi bien en saison sèche et en saison pluvieuse. L'Atrazine et l'Endosulfan, ont montré une différence significative partant de la saison pluvieuse à la saison sèche ($p < 0,05$) avec des valeurs plus grandes en saison pluvieuse. On note également des concentrations moyennes plus élevées de ces deux substances actives au niveau des stations de Aguigadji et Ahlan et basses au niveau de la station de Sele. Ceci s'explique d'une part par le fait que la station Sele est un lac qui est isolé et n'est pas directement dans le courant du fleuve Ouémé et d'autres part, par les activités agricoles réduites autour de ce cours d'eau par rapport aux autres.

D'autres matières actives ce sont beaucoup plus accentuées en saison sèche, il s'agit de l'Emamectine, l'Abamectine et le Lambda-Cyhalotrin (Figure 3). Ces molécules ont montré des différences significativement plus élevées en saison sèche par rapport à la saison pluvieuse ($p < 0,05$). Les molécules n'ont pas été détectées à la station témoin à l'exception du Lambda-Cyhalotrin qui a été mis en évidence seulement en saison pluvieuse mais avec des valeurs très basses. Les valeurs élevées de ces molécules en saison sèche s'expliquent par les activités du maraîchage qui sont beaucoup plus actives le long des cours d'eaux pendant cette période et par conséquent une utilisation des pesticides contenant ces molécules à usage pour les cultures maraichères.

3.3. Les éléments traces métalliques

Les analyses au laboratoire ont fait ressortir une gamme de métaux lourds. Il s'agit de: Zinc (Zn), Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Arsenic (As), Manganèse (Mg), Nickel (Ni), Fer (Fe), Mercure (Hg), Cuivre (Cu), Chrome (Cr). Ils ont été détectés avec une variation de concentration au niveau des différentes stations d'eaux de l'Ouémé inférieur aussi bien en saison pluvieuse comme en saison sèche.

En saison pluvieuse comme en saison sèche, les concentrations moyennes du Plomb étaient les plus représentatives au niveau de toutes les stations dites contaminées et moindre au niveau de la station Témoin (figure 4 et 5). Les valeurs du plomb ont montré une différence significative allant d'une saison à une autre au niveau de toutes les stations dites contaminées ($p < 0.05$) avec des valeurs élevées en saison sèche. Les concentrations moyennes calculées pour le Plomb sont supérieures à la norme fixées par l'OMS (10 mg/L). La station témoin Toho a présenté des valeurs moindres que les stations dites contaminées et avec des concentrations en Plomb inférieures à la valeur limite de l'OMS. L'autre métal le plus représenté en saison sèche comme pluvieuse au niveau de toutes les stations dites contaminées est le Zinc. Il a présenté des valeurs significativement élevées également en saison sèche qu'en saison pluvieuse ($p < 0.05$) au niveau de toutes les stations. Les concentrations calculées pour le Zinc sont largement supérieures à la norme de l'OMS (0,01 mg/L) pour toutes les stations dites contaminées (Aguigadji, Ahlan, Sele) et partiellement supérieures à cette norme pour la station témoin (Toho) (Tableau 3). Ainsi les eaux de pêcheries de crevettes dans l'Ouémé inférieur sont caractérisées par la présence des éléments plomb et Zinc avec des valeurs qui affectent la qualité de l'eau surtout en saison sèche.

Le Cadmium, le Mercure et le Chrome ont été détectés au niveau des stations dites contaminées et n'ont montré aucune trace au niveau de la station témoin. Les valeurs issues de ces paramètres ont montré des différences significativement grandes en saison sèche ($p < 0.05$). Les concentrations issues de ces valeurs sont supérieures aux normes fixées par l'OMS au niveau de toutes les stations pour ces paramètres à l'exception du Mercure qui a présenté des concentrations inférieures à la station de Sele en toute saison et également le Chrome qui a présenté une concentration moindre en saison pluvieuse à Ahlan (Tableau 3). L'Ouémé inférieur est également caractérisé par des eaux contenant des éléments métalliques dont le Cadmium, le Mercure et le Chrome avec des concentrations supérieures aux normes pour les eaux potables. Seulement détecté dans les eaux des stations de Aguigadji et Ahlan, les valeurs du Manganèse ont montré une différence significative allant d'une saison à une autre avec des valeurs faibles en saison pluvieuse ($p < 0.05$). Les concentrations moyennes obtenues en cette saison sont inférieures à la limite de l'OMS contrairement à celles obtenues en saison sèche. Une autre molécule métallique ayant des concentrations moyennes supérieures à la norme de l'OMS au niveau de toutes les stations contaminées est l'Arsenic (As). Cet élément métallique n'a pas été détecté en saison pluvieuse mais présent en saison sèche à la station témoin avec également une concentration partiellement supérieure à la norme de l'OMS (Tableau 3). D'autres métaux notamment le Cuivre, le Fer et le Nickel, ont été détectés au niveau de toutes les

Niveau De Contaminant Agricole Des Eaux De Pêcheries Des Crevettes De l'Ouémé Inférieur : Cas Des Stations De Aguigadji, Ahlan Et Sele Dans Les Communes De Kètou, Zaganado Et Ouinhi

stations avec des valeurs significativement plus élevées en saison sèche ($p < 0.05$). Les valeurs moyennes des concentrations obtenues pour le Nickel sont toutes supérieures aux normes de l'OMS au niveau de toutes les stations dites contaminées à l'exception de la station témoin. Pour ce qui est du Cuivre et du Fer, les concentrations moyennes obtenues sont inférieures à la valeur limite de l'OMS sur toutes les stations. Le Manganèse et le Nickel sont également une caractéristique des eaux de l'Ouémé inférieur avec de concentrations supérieures aux normes contrairement au Cuivre et au Fer.

Tableau 3 : Concentration des éléments métalliques dans les eaux de l'Ouémé inférieur en saison pluvieuse et sèche

Paramètre	AGUIGADJI		AHLAN		SELE		TOHO		Limites OMS (mg/L)
	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	
(Zn)	2,64±0,44 b	3,55±0,99 bc	2,67±0,88 a	4,69±1,18 b	2,72±0,46a	3,60±,43a b	0,016±0,0 09a	0,06±0,02 ab	0,01
(Cd)	0,04±0,00 4a	0,26±0,13 ab	0,29±0,18 ab	1,19±0,16 b	0,64±0,21b	1,30±0,28 c	nd	nd	0,003
(As)	0,1±0,05a	1±0,80b	0,51±0,07 a	1,45±0,56 b	2,01±0,8ab	1,15±0,05 b	nd	0,04±0,03 b	0,01
(Pb)	18,96±8,5 6ab	29,71±6,1 0b	18,04±2,1 5ab	20,81±5,8 6bc	17,72±5,90a	19,67±9,0 7b	0,42±0,34 a	0,20±0,07 4ab	10
(Mn)	0,3±0,02a	2,09±2,00 4b	0,04±0,01 a	1,46±0,15 b	nd	nd	nd	nd	0,08
(Ni)	1,35±0,69 ad	3,02±0,99 d	1,22±0,41 a	2,22±0,41 b	0,43±0,33a	1,83±0,30 b	0,02±0,01 2a	0,07±0,04 ab	0,07
(Fe)	2,48±1,19 a	3,08±0,83 b	0,39±0,10 a	0,66±0,15 b	1,51±0,48a	0,85±0,25 b	0,141±0,0 92a	0,53±0,34 b	50
(Hg)	0,063±0,0 38a	0,40±0,06 b	0,11±0,06 a	0,65±0,10 b	0,0003±0,00 04a	0,003 ±0,002b	nd	nd	0,006
(Cu)	0,071±0,0 13a	0,57±0,06 b	0,17±0,04 9a	0,45±0,05 b	2,07±0,89a	0,74±0,46 b	0,007±0,0 02a	0,018±0,0 06b	2
(Cr)	0,29±0,36 ab	0,45±0,03 a	0,039±0,0 22c	0,78±0,09 a	0,204±0,065 ab	2,21±0,97 c	nd	nd	0,05

nd : non détecté

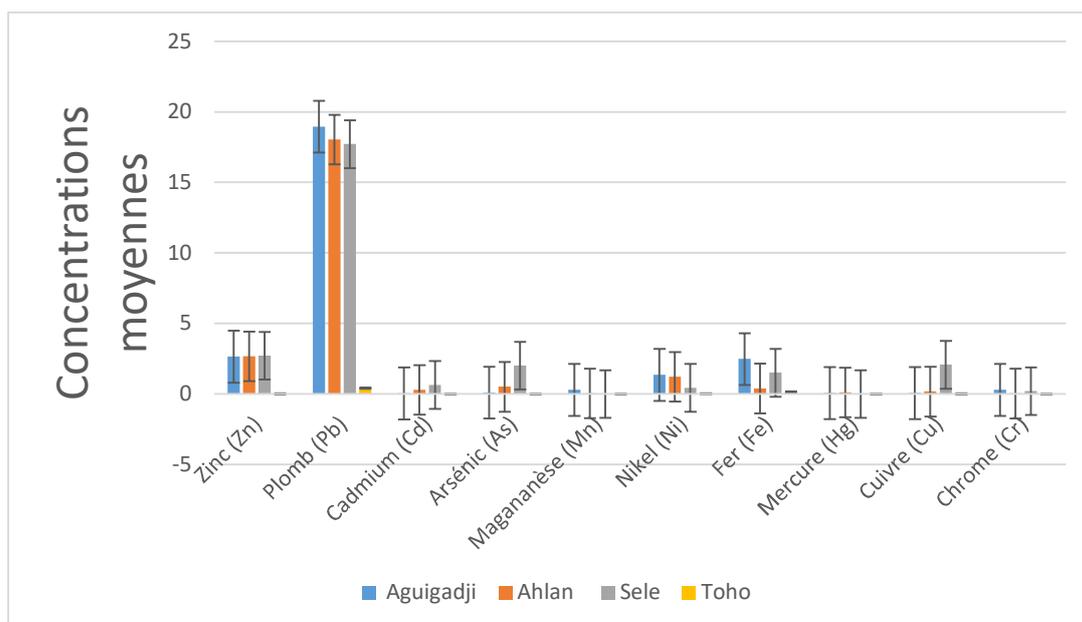


Figure 4 : Concentration moyennes des métaux lourds des eaux de l'Ouémé inférieur en saison pluvieuse

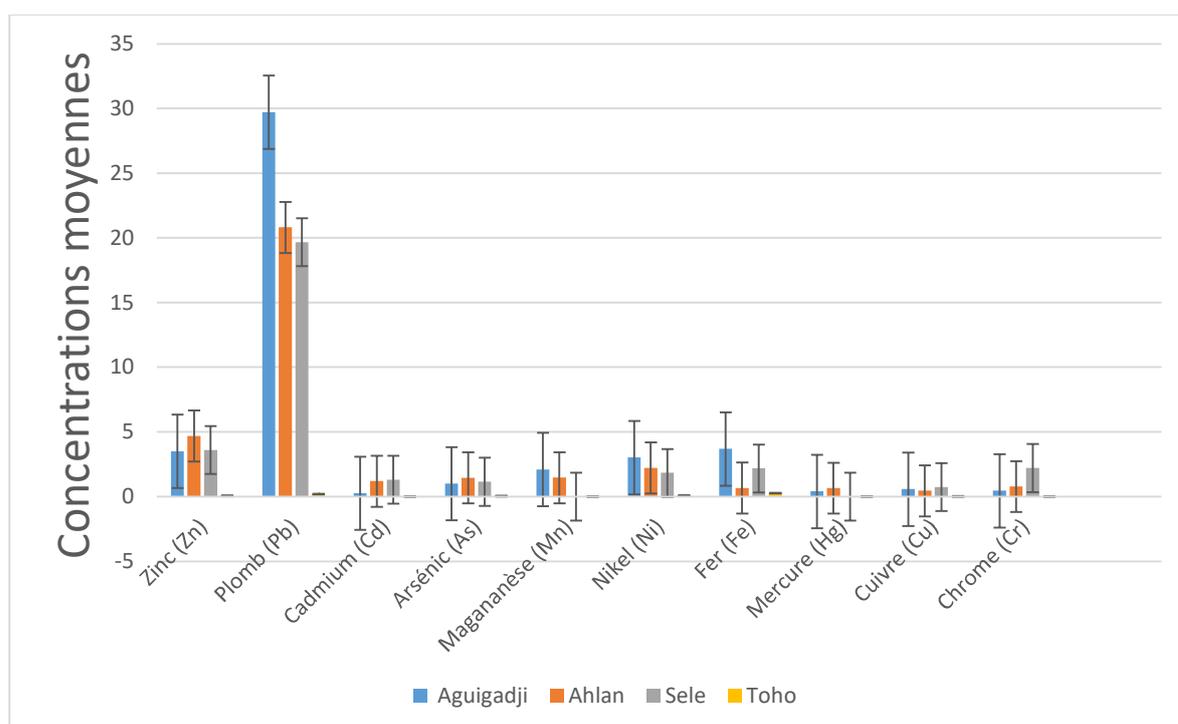


Figure 5: Concentration moyennes des métaux lourds des eaux de l'Ouémé inférieur en saison sèche

IV. DISCUSSION

Pour le premier paramètre mesuré qu'est la température, les valeurs enregistrées en saison pluvieuse sont similaires à celles enregistrées sur la rivière de Sô au Sud-Bénin par Koudenoukpo et al. (2017) et dans le fleuve Densu au Ghana par Karikari & Ansa-Asare (2006). Le pH qui fait aussi partie des paramètres mesurés *in situ* a donné des valeurs similaires à celles enregistrées

sur la rivière de Sô au Sud-Bénin par Koudenoukpo et al. (2017) et proches de celle enregistrée (pH=8) dans le bassin cotonnier du Bénin (Agblonon Houelome et al., 2016).

Les valeurs de la Salinité des eaux de l'Ouémé inférieur pendant la saison pluvieuse sont restées très faibles au niveau de toutes les stations. Ceci s'avère normal puisque nous sommes dans les eaux douces contrairement à celles répertoriées à l'estuaire du fleuve Konkouré en république de Guinée dont les valeurs de la salinité enregistrées varient de (4,5-28,2‰) (Onivogui et al., 2013).

L'Azote Total, le Nitrate, le nitrite et l'Ammonium sont les fertilisants retrouvés dans les eaux de l'Ouémé inférieur et dont les valeurs des concentrations sont à la hausse en saison pluvieuse par rapport à la saison sèche. Ceci pourrait signifier un déversement dans les eaux d'importantes quantités d'engrais chimiques appliqués dans les champs pendant la saison pluvieuse et qui reste accumulés dans les eaux pendant la saison sèche (Gnonsoro et al., 2016). Ce résultat corrobore avec celui de Soro et al. (2022), qui ont observé des valeurs élevées seulement en saison des pluies dans trois fleuves tropicaux en côte d'Ivoire. Selon Han et al. (2020) les ruissèlements des engrais azotés provenant des terres agricoles et des transformations organiques peuvent être considérés comme sources de nitrate en saison sèche. C'est-à-dire une persistance des engrais déversés en saison pluvieuse sont retrouvés en saison sèche même si parfois en quantité réduites. D'après Corriveau (2009) les niveaux élevés de Nitrite dans les eaux des fleuves et rivières peuvent indiquer une pollution et un risque de toxicité pour la vie aquatique à des concentrations relativement élevées ($> 0.01 \text{ mg/L NO}_2\text{-N}$). Le Phosphore Total et les ions Phosphate ont été également détectés dans les eaux de l'Ouémé inférieur avec des concentrations moyennes élevées en saison des pluies et en saison sèche au niveau de certaines stations et moindre au niveau d'autres stations. Ses résultats sont aussi similaires à ceux observés en saison sèche par Soro et al. (2022). Des concentrations en Demande Chimique Oxygène (DCO) des eaux sont restées supérieures en saison pluvieuse au niveau de certaines stations (Ahlan et Toho) contrairement aux autres stations (Aguigadji et de Sele) où les valeurs sont restées plus grandes en saison sèche. La DBO₅, est restée faible en saison pluvieuse au niveau de toutes les stations mais élevée en saison sèche. Chouti & Hounkpèvi. (2018) ont aussi mis en évidence des valeurs de la DCO relativement élevées en saison pluvieuse dans les eaux du fleuve Mono, sud-ouest Bénin. Selon les mêmes auteurs, ces hausses des valeurs prouvent que la matière organique est abondante dans les eaux pendant la saison au niveau de la station. C'est ce que affirme Amano et al., (2010) en disant que la dilution et le transport des effets d'une forte surface d'eau en amont apparaissent et arrivent dans les lits d'eau en aval et entraînent un pic de concentration.

Une gamme de matières actives a été détectée en saison pluvieuse et en saison sèche dans les eaux de l'Ouémé inférieur après des analyses au laboratoire. Ces résultats sont proches des travaux de Yèhounou-Pazou (2005) qui a affirmé que le fleuve Ouémé, le lac Nokoué ainsi que la lagune de Cotonou contiennent une vingtaine de pesticides. Gbaguidi et al. (2011) enregistrent également des concentrations de résidus de pesticides dont les pyrèthrinoides, les aminophosphates et les triazines dans l'eau de la rivière Agbado, un affluent de la rivière Zou en saison pluvieuse. Ce même auteur n'avait enregistré aucun résidu de pesticide en saison sèche dans la même rivière au Bénin. Des matières actives de pesticides ont été également détectées dans le bassin du fleuve Mono au Bénin (Aikpo et al., 2015). Les travaux de plusieurs auteurs ont également mis en évidence des matières actives de pesticides dans plusieurs cours d'eau en Afrique. Parmi tant d'autres nous pouvons citer, Tapsoba et Bonzi-Coulibaly (2006) et Yao et al. (2020) dans la lagune Ebrié, Traoré Abou et al. (2015) dans les lagunes Aghien et Potou en Côte d'Ivoire, Kenko Nkontcheu et al. 2017 dans le fleuve Benoue au Cameroun, Adeshina et al. (2019) dans le fleuve Owena au Nigéria, Darko et al. (2018) dans le lac de Bosomtwi, Kuranchie-Mensah et al. (2012) dans le bassin du fleuve Densu, Obeng Affum et al. (2018) dans le bassin de Ankobra au Ghana, Youchaou Tawaye et al. (2021) dans le lac Guidimouni et la mare de Tabalak au Niger.

Les matières actives telles que Aldrine, Emamectine, Atrazine, Butachlor, dichloro diphenyl trichloroéthane (DDT), Abamectine, Lambda-Cyhalotrin, Isopropalamine, Cyperméthrine, Glyphosate, Imazethapyr, Endosulfan, Monocozebè, Nicosulfuron sont celles enregistrées en saison pluvieuse et Aldrine, Emamectine, Atrazine, DDT, Lambda-Cyhalotrin, Abamectine, Glyphosate, Endosulfan sont les matières actives enregistrées en saison sèche. Au Burkina, les travaux de Tapsoba & Bonzi-Coulibaly (2006) ont également mis en évidence de l'Aldrine et de l'Endosulfan dans les eaux de surface en saison sèche et en saison pluvieuse. Au Nigeria, Adeshina et al. (2019) ont également enregistré dans la fleuve Owena la présence de Endosulfan dans les échantillons d'eau pendant la saison sèche de 2015 avec une concentration moyenne de $0.015 \pm 0.002 \text{ mg/L}$. Au Ghana, Ntow (2005) a également détecté la présence de l'Endosulfan dans les eaux du fleuve Volta et avec une concentration moyenne (0.036 mg L^{-1}).

Soclo (2003) et Yehouénou-Pazou (2005) ont montré que l'endosulfan, le dichloro diphényl trichloroéthane (DDT) et de l'endrine sont utilisés par les pêcheurs directement pour la capture des poissons pendant la période des basses eaux ce qui conduit donc à la contamination des eaux de ces cours d'eau. Ainsi sur la vingtaine de matières actives identifiées dans le fleuve Ouémé, le lac Nokoué ainsi que la lagune de Cotonou, figurent beaucoup plus l'Endosulfan, l'Aldrine, le Dieldrine et l'Hexachlorocyclohexane (Yehouénou-Pazou, 2005). Egalement Agbohessi et al. (2012) mettent en évidence l'endosulfan, le dichloro diphényl trichloroéthane (DDT), le dieldrine et le heptachlore dans les eaux du parc W avec des taux alarmants. Ce qui corrobore aussi avec les travaux d'autres auteurs dans la sous-région qui ont retrouvé le DDT et l'Aldrine dans deux cours d'eau au Niger (Youchaou Tawaye et al., 2021). En plus de ces deux matières, l'Endosulfan a été également détecté dans les eaux du Ghana (Darko et al., 2018; Kuranchie-Mensah et al., 2012 ; Obeng Affum et al., 2018).

La diminution des concentrations moyennes des pesticides en saisons sèche qui sont en général élevées en saison pluvieuse est similaire à celle de Tapsoba & Bonzi-Coulibaly (2006) au Burkina Faso qui constate que les concentrations en résidus de pesticides dans les eaux sont élevées pendant les mois de Juillet et Août suivie d'une baisse des valeurs en saison sèche (Janvier-Avril). La valeur moyenne des concentrations la plus élevée a été enregistrée en saison pluvieuse. Cette valeur a été enregistrée à la station de Aguigadji et la matière active concernée est le Glyphosate. Cette matière active a été en effet la plus représentative ($13,70 \pm 6,79 \mu\text{g/L}$) en saison des pluies avec des valeurs élevées au niveau de toutes les autres stations dites polluées. Ceci est similaire aux tendances de Gbaguidi et al. (2011) qui a mis en évidence en saison pluvieuse dans l'eau de la rivière Agbodo, des taux de glyphosate entre 0,10 à 1,316 ppb. Des études de Aikpo et al., (2015) révèlent la présence des matières actives dont le Glyphosate dans les eaux du bassin du Mono. Le glyphosate [N-(phosphonométhyl) glycine] est le seul des aminophosphates utilisé en agriculture au Bénin et représente un herbicide systémique post émergent ayant un spectre d'application large (Gbaguidi et al., 2011; Blackburn & Boutin, 2003). D'après FAO (2004), le Glyphosate est l'herbicide le plus utilisé actuellement au niveau mondial. Dans le but de limiter la main d'œuvre relative au sarclage et de disposer de temps pour d'autres activités génératrices de revenus en dehors de l'agriculture, les agriculteurs abusent parfois de l'utilisation de cet herbicide qui existe sur une diversité de noms commerciaux et par conséquent il est retrouvé en solution aqueuse après le lessivage des espaces de culture traités pouvant poser des problèmes de contamination au niveau des eaux superficielles, du vivant aquatique et des utilisateurs de ces eaux (Solomon & Thompson, 2003 ; Thorat & More, 2022)). Le DDT, l'Endosulfan et l'Atrazine sont également restés parmi les plus représentatives en saison pluvieuse. Ce résultat vient encore une fois prouver la densité des activités agricoles mais aussi les déversements des eaux de l'amont contaminées par les activités agricoles. Ces résultats corroborent avec des tendances de Agbohessi et al. (2012) qui viennent confirmer la médiocrité de la qualité des eaux du parc W et de celle de la Pendjari en enregistrant des taux alarmants (supérieures à celle de la directive du Conseil de l'Union européenne (1998) fixée à 0,1 mg/L d'endosulfan, de dichloro diphényl trichloroéthane (DDT), de dieldrine et d'heptachlore dans ces eaux.

Une gamme d'éléments traces métalliques notamment le Zinc (Zn), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd), l'Arsenic (As), le Manganèse (Mg), le Nickel (Ni), le Fer (Fe), le Mercure (Hg), le Cuivre (Cu), le Chrome (Cr) ont été détectés avec une variation de concentrations au niveau des différentes stations d'eaux de l'Ouémé inférieur aussi bien en saison pluvieuse mais aussi en saison sèche. Au Bénin, des études ont également mis en évidence des métaux lourds dans les eaux de surface notamment dans le lac Nokoué au Bénin (Lawani et al., 2014) et le lac Ahémé (Dèdjiho, 2014 ; Dimon et al., 2014). Plusieurs autres études en Afrique révèlent aussi la présence des métaux lourds dans les eaux parmi lesquelles nous avons le réservoir d'eau de Weija au Ghana (Ansah et al 2018), dans l'estuaire du fleuve Konkouré en république de Guinée (Onivogui et al., 2013), dans les lacs Bini et Dang au Cameroun (Oumar et al., 2014) et dans le "Lake Chad" au Nigeria (Akan et al 2012). Les résultats des analyses en saison pluvieuse montrent des concentrations moyennes élevées du Plomb au niveau de toutes les trois (03) stations dites contaminées (Ahlan, Aguigadji et Sele). Au niveau de toutes les stations, les concentrations en Plomb enregistrées sont inférieures aux limites maximales fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) soit 10mg/L. Ces résultats corroborent avec les valeurs du plomb obtenus sur plusieurs stations d'eau du lac Nokoué au Bénin (Lawani et al., 2014) et à la réserve d'eau de Weija au Ghana (Ansah et al 2018) contrairement à Karikari & Ansa-Asare (2006) dans le fleuve Densu au Ghana qui ont enregistré des concentrations moyennes faibles en plomb (0,005-0,050 mg/L).

Quant aux concentrations de Zinc, elles sont supérieures à la valeur limite fixée par l'OMS (2022). Ceci vient affirmer la pollution de ces stations par le Zinc mais beaucoup plus accentué sur les stations dites contaminées. Les résultats similaires ont été enregistrés par Ansah et al. (2018) qui obtiennent également une concentration élevée de Zinc (0,16 mg/L) dans la réserve d'eau de Weija au Ghana contrairement aux tendances de Ble et al. (2022) qui obtiennent des concentrations inférieures à la

norme de l'OMS (2022) en saison sèche et pluvieuse dans les eaux de la zone cacaoyers au sud-Ouest de la Cote d'Ivoire. De l'ensemble de ces concentrations, l'Arsenic, le Manganèse et le Nickel, le Cadmium, le Mercure et le Chrome ont des concentrations grandement supérieures aux limites contrairement au Cuivre et au Fer dont les valeurs sont faibles. Cette observation témoigne le déversement des engrais chimiques comme source principale de l'accumulation des métaux lourds dans les eaux suites aux ruissèlements (FAO, 2009). Ansah et al., (2018) ont aussi détecté une concentration élevée de Nickel (0.21 mg/L) supérieure aux normes d'eau de Weija au Ghana. Ce résultat est similaire aux tendances de Ble et al. (2022) qui obtiennent des concentrations en Cuivre inférieures à la norme de l'OMS (2022) en saison sèche et pluvieuse dans les eaux de la zone cacaoyère de Yabayo dans le département de Soubré au sud-Ouest de la Cote d'Ivoire.

V. CONCLUSION

Cette étude a porté sur l'évaluation du niveau de contamination agricole des eaux de pêcheries de crevettes de l'Ouémé inférieur à travers la détermination des paramètres physiques et chimiques, des résidus de matières actives de pesticides et la présence des métaux lourds provenant des intrants agricoles utilisés dans cette zone. Les analyses ont mis en évidence des concentrations moyennes élevées en éléments azotés et phosphorés. Egalement des résidus de pesticides et de métaux lourds ont été détectés avec des concentrations plus élevées au niveau de toutes les stations contrairement à la station témoin où les contaminants sont soit non détectés ou présents en concentration très faible. Un nombre important des matières actives ont présenté des concentrations moyennes supérieures aux normes recommandées par l'OMS. Ceci vient signaler une contamination des eaux de cette zone et par conséquent les déversements des intrants agricoles dans les eaux à travers les voies de contaminations. D'autres travaux se poursuivent dans ce même écosystème aquatique afin de vérifier la présence de ces mêmes contaminants dans d'autres matrices qui sont les sédiments et les crevettes.

REFERENCES

- [1] Adeshina Y.A., Solomon A., Ademola A.F. (2019). Contamination Levels of Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residues in Water and Sediment from River Owena, Nigeria. *Current Journal of Applied Science and Technology* 34(2): 1-11.
- [2] Agblonon Houelome T.M., Adandedjan D., Chikou A., Imorou Toko I., Bonou C., Youssao I., Laleye P. (2016). Evaluation de la qualité des eaux des ruisseaux du cours moyen de la rivière Alibori par l'étude des macroinvertébrés benthiques dans le bassin cotonnier du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(6): 2461-2476.
- [3] Agbohessi T, Imorou Toko 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): 46–56.
- [4] Agbohessi PT, Imorou Toko I, Houndji A, Gillardin V, Mandiki SNM, Kestemont P. (2013). Acute toxicity of agricultural pesticides to embryolarval and juvenile African catfish *Clarias gariepinus*. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 64, 692-700.
- [5] Aikpo H, Chabi B, Ayi V, Koumolou L, Houssou C, ET Edorh P. (2015). Evaluation de la contamination des eaux du fleuve Couffo dans la zone cotonnière de Djidja (Bénin) par les pesticides. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(3): 1725-1732.
- [6] Akan J.C., Abbagambo M.T., Chellube Z.M., Abdulrahman F.I. (2012). Assessment of Pollutants in Water and Sediment Samples in Lake Chad, Baga, North Eastern Nigeria. *Journal of Environmental Protection*. 3(11): 1428-1441.
- [7] Amano Y., Sakai Y., Sekiya T., Takeya K., Taki K., Machida M. (2010). Effect of phosphorus fluctuation caused by river water dilution in eutrophic lake on competition between blue-green alga *Microcystis aeruginosa* and diatom *Cyclotella* sp. *J. Environ. Sci.* 22: 1666–1673.
- [8] Anim A., Zachariadis G. D., Voutsas Kouras A., Samara C. (2011). Variation of heavy metals and other toxic element concentrations in surface water of Macedonia, in: Proceedings of 1st Environmental Conference of Macedonia, Thessaloniki, Greece. pp. 104–109.
- [9] Ansah E., Nukpezah D., Hogarh J.N. (2018). Levels and Distribution of Heavy Metals in Weija Reservoir, Accra, Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*. 26(1): 74 - 88.

- [10] Blackburn LG, Boutin C. (2003). Subtle effects of herbicide use in the context of genetically modified crops: a case study with glyphosate (Roudup). *Ecotoxicol.* 12: 271-285.
- [11] Ble L.O., Soro T.D., Hien M.P., Degny G.S. (2022). Effet de l'apport d'intrants agricoles sur le couple eau-sédiment des zones cacaoyères à Yabayo dans le département de Soubre au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.* 40: 43 – 56. <http://www.revist.ci>
- [12] Chouti W.K. & Hounkpèvi E. (2018) Chemical Quality and Bacteriology the Waters of the Mono rivère, southouest Bénin. *Afrique Science.* 14: 23-32.
- [13] Corriveau J. (2009). Etude des concentrations toxiques de nitrite dans les cours d'eau d'un bassin versant agricole (Thesis). Quebec. *Doctorat en sciences de l'eau, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.* 144 p.
- [14] FAO. (2004). FAO specifications and evaluations for agricultural pesticides. p25.
- [15] FAO. (2009). Resource Stat-Fertilizer. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://Faostat.fao.org/site/Desktop Default.aspx??PageID#ancor>, 12.03.
- [16] Darko G., Akoto O., Opong C. (2008). Persistent organochlorine pesticide residues in fish, sediments and water from Lake Bosomtwi, Ghana. *Chemosphere.* 72, 21–24.
- [17] Dèdjiho A.C. (2014) : Etude diagnostique de la pollution chimique des plans d'eau du complexe lagunaire du Sud-Ouest du Bénin : cas du lac Ahémé-Gbèzoumè. *Thèse de doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi.* 139p.
- [18] Dimon F., Dovonou F., Adjahossou N., Chouti W., Mama D., Alassane A., Boukari M. (2014) : Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 37: 36-42.
- [19] European Union. (1998). Directive on the Quality of Water Intended for Human Consumption, 98/83/EC. *Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.*
- [20] Gbaguidi M.A.N, Soclo H.H, Issa Y.M, Fayomi B., Dognon R., Agagbe A, Bonou C. (2011). Evaluation quantitative des résidus de pyrèthrinoides, d'aminophosphate et de triazines en zones de production de coton au Bénin par la méthode ELISA en phase liquide : cas des eaux de la rivière Agbado. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(4): 1476-1490.
- [21] Gnonso U.P., Yao K.M., Yao B.L., Kouassi N.L.B., Dembele A, Metongo S.B., Kouassi A.M., Trokourey A. (2016). Aldicarbe et crimidine dans les eaux et les sédiments aux alentours de la décharge municipale d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire): niveaux et fréquences de contamination. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(1): 400-411.
- [22] Han J.Y., Kim D-H., Oh S., Moon H.S., (2020). Effects of water level and vegetation on nitrate dynamics at varying sediment depths in laboratory-scale wetland mesocosms. *Sci. Total Environ.* 703: 134741.
- [23] Hounsou M., Agbossou E., Ahamide B., Akponikpe I. (2010) : Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences.* 2: 107-121.
- [24] Karikari A.Y., Ansa-Asare, O.D. (2006). Physico-chemical and microbial water quality assessment of Densu river of Ghana. *West Afr. J. Appl. Ecol.* 12: 87–100.
- [25] Kuranchie-Mensah H., Atiemo S.M., Palm L.M.N-D., Blankson-Arthur S., Tutu A.S., Fosu P. (2012). Determination of organochlorine pesticide residue in sediment and water from the Densu river basin, Ghana. *Chemosphere.* 86 (3): 286-292.
- [26] Kenko Nkontcheu D.B., Fai P.B.A., Taboue G.C.T., Tchamadeu N.N., Ngealekeleoh F., Mbida M. (2017). Assessment of Chemical Pollution With Routine Pesticides Using PRIMET, a Pesticide Risk Model in the Benoe Stream in the South-West Region of Cameroon. *European Scientific Journal.* (13)30: 153-172. Doi: 10.19044/esj.

- [27] Koudenoukpo Z.C., Chikou A., Adandedjan D., Hazoume R., Youssao I., Mensah G.A., Laleye A.P. (2017). Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences*. 113: 11111-11122.
- [28] Laleye P., Chikou A., Philippart J.C., Teugels G., Vandewalle P. (2004). Etude de la diversité ichthyologique du bassin du fleuve Oueme au Benin (Afrique de l'Ouest). *Cybium*. 28: 329-339.
- [29] Lawani A.N., Kelome N.C., Tchiboza M.A.D., Hounkpe J.B., Adjagodo A. (2017). Effects of agricultural practices on the pollution of surface water in Benin Republic. *LARHYSS Journal*. 30: 173-190.
- [30] Lawani L., Adandedjan D., D'Almeida F., Chikou A., Fousseni A., Laleye P. (2014). Etude de la pollution par le plomb des eaux, des sédiments et des crevettes du lac Nokoué au Bénin. *Cahiers du CBRST*. 5: 385-403.
- [31] Leigh C., Burford M.A., Roberts D.T., Udy J.W. (2010). Predicting the vulnerability of reservoirs to poor water quality and cyanobacterial blooms. *Water Research*. 44: 4487-4496.
- [32] Neumann M., Dudgeon D. (2002). The impact of agricultural runoff on stream benthos in Hong Kong China. *Water research*. 36(12): 3103-3109.
- [33] Ntow W.J. (2005). Pesticide residues in Volta Lake, Ghana. *Lakes & Reservoirs. Research and Management*. 10: 243-248.
- [34] Ntow W.J., Drechsel P., Botwe B.O., Kelderman P., Gijzen H.J. (2008). The impact of agricultural runoff on the quality of two streams in vegetable farm areas in Ghana. *J. Environ. Qual.* 37: 696-703.
- [35] Obeng Affum A., Acquaaah S.O., Osaè S.D., Kwaansa-Ansah E.E. (2018). Distribution and risk assessment of banned and other current-use pesticides in surface and ground waters consumed in an agricultural catchment dominated by cocoa crops in the Ankobra Basin, Ghana. *Science of the Total Environment*. 633: 630-640
- [36] OMS. (2022). « Guideline for drinking-water quality ». Fourth Edition. World Health Organization Publication. Geneva, Switzerland. 307 - 447.
- [37] Onivogui G., Balde S., Bangoura K., Barry M.K. (2013). Évaluation des risques de pollution en métaux lourds (Hg, Cd, Pb, Co, Ni, Zn) des eaux et des sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré (Rep. de Guinée). *Afrique SCIENCE*. 09(3): 36 - 44.
- [38] Oumar B., Ekengele N. L., Balla A. O. D. (2014). Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science*. 10: 184 - 198.
- [39] Sass LL, Bozek MA, Hauxwell JA, Wagner K, Knight S. (2010). Response of aquatic macrophytes to human land use perturbations in the watersheds of Wisconsin lakes, U.S.A. *Aquatic Botany*. 93: 1-8.
- [40] Soclo H.H. (2003) Impact Study of the Use of Chemical Fertilizers and Pesticides Used by the Populations Living Near the Ecosystems (Surface Water, Plants and Fauna) of the Protected Areas (National Parks and Hunting Areas) of Benin. CENAGREF, Cotonou. 168p. <https://www.cenagref.org>
- [41] Soro M-P., N'goran K.M., Ouattara A.A., Yao K.M., Kouassi N.L.B., Diaco T. (2022) Nitrogen and phosphorus spatio-temporal distribution and fluxes intensifying eutrophication in three tropical rivers of Cote d'Ivoire (West Africa). *Marine Pollution Bulletin*. 186:1-20.
- [42] Soro G., Koffi N.M., Kone B., Kouakou Y.E., M'Bra K.R., Soro P.D., Soro N. (2018). Utilisation de produits phytosanitaires dans le maraîchage autour du barrage d'alimentation en eau potable de la ville de Korhogo (Nord de la cote d'Ivoire) : risque pour la santé publique. *Environ. Risque. Santé*. 17 (2): 155-163.
- [43] Solomon K.R., Thompson D.G. (2003). Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 289-324.
- [44] Tapsoba H.K., Bonzi-Coulibaly Y.L. (2006). Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J. soc. ouest-afr. chim.* 21: 87-93.

- [45] Thorat J.C, More A.L. (2022) .The effect of chemical fertilizers on environment and human health. *International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)*. 7(2): 99-105.
- [46] Traore A., Ahoussi K.E., Natchia A.K.A, Traore A., Soro N. (2015). Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes aghien et potou (sud-est de la côte d'ivoire). *Int. J. Pure App. Biosci.* 3 (4): 312-322.
- [47] Yao K.S., Atsé B.C., Trokourey A. (2020). Evaluation de l'impact de la contamination aux pesticides des eaux, sur les poissons et la santé de l'Homme, des secteurs IV et V de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *RAMReS Sciences des Structures et de la Matière.* 2: 59 – 74. <http://publication.lecames.org/index.php/mat>.
- [48] Yehouenou-Pazou E.A. (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 Lake Nokoué. *Thèse de Doctorat, FLASH/UAC, Bénin.* 217 p.
- [49] Youchaou Tawaye A., Alhou B., Elh Saley Adamou A. (2021). Niveau de contamination aux pesticides et risques écotoxicologiques dans deux écosystèmes aquatiques au Niger : Lac Guidimouni et mare de Tabalak. *Afrique SCIENCE.* 18(2): 1 - 13,