

Étude de la variation de la teneur en résidus de pesticides dans l'eau et les tilapias (*Tilapia guineensis*) du fleuve Couffo dans le bassin cotonnier de la commune de Djidja, Bénin

Firmin Hounwanou AIKPO^{1,2*}, Yvette Adjouavi DEGUENON², Lucien AGBANDJI²,
Christophe Sègbè HOUSSOU¹ et Patrick Aléodjrodo EDORH²

¹ Laboratoire Pierre Pagny « Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement » (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (UAC), BP 922 Cotonou, Bénin

² Laboratoire de Recherche en Biochimie et Toxicologie de l'Environnement (LaRBITE), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin

* Correspondance, courriel : aikpofirmin@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de la recherche est d'étudier la variation de la teneur en résidus de pesticides dans l'eau et les tilapias (*Tilapia guineensis*) du fleuve Couffo dans le bassin cotonnier de la commune de Djidja (Bénin). Des échantillons d'eau (09) et de tilapias (09) ont été prélevés le long du fleuve Couffo et analysés par chromatographie en phase gazeuse après extraction et purification. Les données sont soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs pour apprécier les différences entre les facteurs ($p(T > t) = 10 \%$). Le Glyphosate est décelé entre 0,192 $\mu\text{g} / \text{L}$ et 0,221 $\mu\text{g} / \text{L}$ dans l'eau et entre 0,123 $\mu\text{g} / \text{kg}$ et 0,191 $\mu\text{g} / \text{kg}$ dans les tilapias. Le Profénofos est détecté entre 0,093 $\mu\text{g} / \text{L}$ et 0,105 $\mu\text{g} / \text{L}$ dans l'eau et entre 0,095 $\mu\text{g} / \text{kg}$ et 0,128 $\mu\text{g} / \text{kg}$ dans les tilapias. La teneur en Acétamipride dosée varie entre 0,043 $\mu\text{g} / \text{L}$ et 0,082 $\mu\text{g} / \text{L}$ dans l'eau et entre 0,112 $\mu\text{g} / \text{kg}$ et 0,125 $\mu\text{g} / \text{kg}$ dans les tilapias. Celle de la Cyperméthrine trouvée varie entre 0,095 $\mu\text{g} / \text{L}$ et 0,113 $\mu\text{g} / \text{L}$ dans l'eau et entre 0,127 $\mu\text{g} / \text{kg}$ et 0,139 $\mu\text{g} / \text{kg}$ dans les tilapias. Une différence significative existe entre les teneurs en résidus de pesticides détectées dans l'eau et celles dosées dans les tilapias. Toutefois, il est nécessaire de prévoir un programme de surveillance des pesticides dans le fleuve Couffo.

Mots-clés : pesticides, eau, tilapias, fleuve, Djidja.

Abstract

Study of the variation of pesticides residues levels in water and tilapia in the Couffo river in the cotton basin in Djidja, Benin

The aim of the research is to study the variation of pesticides residues levels in water and tilapia (*Tilapia guineensis*) in the Couffo river in the cotton basin in Djidja (Benin). The water (09) and tilapias (09) samples are collected along the Couffo river and analyzed by gas chromatography after extraction and purification. The data are subjected to analysis of variance (ANOVA) of two factors to appreciate the difference between the factors ($p(T > t) = 10 \%$). The Glyphosate is discovered between 0.192 $\mu\text{g} / \text{L}$ and 0.221 $\mu\text{g} / \text{L}$ in water and between 0.123 $\mu\text{g} / \text{kg}$ and 0.191 $\mu\text{g} / \text{kg}$ in tilapias. The Profenofos is detected between 0.093 $\mu\text{g} / \text{L}$ and 0.105 $\mu\text{g} / \text{L}$ in water and between 0.095 $\mu\text{g} / \text{kg}$ and 0.128 $\mu\text{g} / \text{kg}$ in tilapias. The

Acetamiprid is measured between 0.043 $\mu\text{g} / \text{L}$ and 0.082 $\mu\text{g} / \text{L}$ in water and between 0.112 $\mu\text{g} / \text{kg}$ and 0.125 $\mu\text{g} / \text{kg}$ in tilapias. The Cypermethrin is found between 0.095 $\mu\text{g} / \text{L}$ and 0.113 $\mu\text{g} / \text{L}$ in water and between 0.127 $\mu\text{g} / \text{kg}$ and 0.139 $\mu\text{g} / \text{kg}$ in tilapias. A meaningful difference exists between the pesticides residues levels detected in water and those measured out in the tilapias. However, it is necessary to provide a monitoring program of pesticides in the Couffo river.

Keywords : *pesticides, water, tilapias, river, Djidja.*

1. Introduction

Les pesticides sont des substances chimiques très utilisées dans l'agriculture. Ils exercent une activité de contrôle contre les organismes considérés nuisibles par l'homme pour ses activités. L'agriculture conventionnelle basée sur un mode de production intensive repose entièrement sur l'utilisation de ces produits chimiques [1]. Ce modèle cultural est devenu dominant à travers le monde au cours de la seconde moitié du XX^e siècle et s'établit de plus en plus dans de nombreux pays émergents [2]. En Afrique, parmi les efforts consentis dans le but de l'autosuffisance alimentaire qui demeure une priorité nationale dans certain pays, un accent particulier est mis sur la recherche de techniques de lutte efficaces contre les « ennemis » des cultures et autres parasites du cheptel qui sont des contraintes majeures au développement agricole. L'augmentation de la production alimentaire est un objectif affiché de la politique des gouvernements de ces pays qui utilisent la lutte phytosanitaire pour réduire voire annuler les pertes avant et après récoltes dues aux ravageurs et aux mauvaises herbes [3]. Au Bénin, les pesticides sont dispersés volontairement dans l'espace rural pour détruire divers ravageurs des cultures. Ils sont utilisés dans l'agriculture pour apporter des approches de solutions à divers problèmes que les acteurs du secteur rencontrent. Il en découle que l'utilisation des pesticides est dictée par des soucis d'avoir une bonne productivité des facteurs de production dans l'agriculture [4]. L'abus des pesticides dans certaines pratiques agricoles africaines non contrôlées et dans les autres usages non conventionnels comme la pêche est préjudiciable à la qualité des eaux, aux organismes aquatiques et leur consommateur et les pathologies qui en découlent sont nombreuses et dramatiques [5].

Les insecticides, les herbicides et les fongicides sont appliqués en grandes quantités dans beaucoup de pays développés et en développement, entraînant la pollution de l'eau douce par des carcinogènes et autres poisons, affectant les êtres humains ainsi que différentes espèces de faune et de flore [6]. Toutes ces molécules chimiques libérées dans l'environnement s'infiltrant dans le sol ou ruissellent et rejoignent les écosystèmes aquatiques comme réceptacle final [7]. Les plus dangereuses, les organochlorés notamment, intègrent les chaînes alimentaires [8] et les dégâts sont lourds pour les populations aquatiques en général et les espèces halieutiques en particulier [9]. A la suite de leur application, ces molécules sont susceptibles de quitter leur site d'application et sont alors considérées comme des micropolluants organiques à l'origine de la pollution de tous les compartiments environnementaux [10]. Dans la commune de Djidja, l'utilisation importante des pesticides en agriculture a engendré la contamination de l'environnement. En effet, des poissons-chat (*Clarias gariepinus*) prélevés à Dridji (commune de Djidja) et analysés ont montré la présence du pp-DDE à une teneur de 403 ng / kg et de l'endosulfan à une teneur de 75 ng / L [11]. Aussi, des organismes aquatiques de la rivière Kiti (commune de Djidja) prélevés et analysés ont-ils révélé la présence des métabolites de DDT avec des niveaux de 5,14 $\mu\text{g} / \text{kg}$ de poids pour les sédiments de la rivière. Les composés du DDT comme α -endosulfan ont atteint des niveaux de 403 ng / kg de lipides chez les poissons, les crabes et les amphibiens [12]. L'objectif de la présente recherche est d'étudier la variation des teneurs en résidus de pesticides dans l'eau et les tilapias (*Tilapia guineensis*) du fleuve Couffo dans le bassin cotonnier de la commune de Djidja (Bénin).

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre d'étude

La commune de Djidja est située entre 7° 10' et 7° 40' de latitude nord et entre 1° 40' et 2° 10' de longitude ouest. Elle couvre 41,66 % de la superficie totale du département du Zou. Cette commune est drainée par 145 km de cours d'eau dont deux (2), à savoir le Zou et le Couffo sont les plus importants [13]. Les autres cours d'eau sont saisonniers et se jettent dans le Zou ou le Couffo selon leur direction. La population de la commune de Djidja s'investit à 80 % dans les activités agricoles [14]. L'agriculture est le secteur prédominant de l'économie de la commune. La pêche constitue une activité secondaire des communautés riveraines des cours et plans d'eau existants [15]. Le Couffo et le Zou sont les cours d'eau les plus exploités.

2-2. Méthodes

2-2-1. Prélèvement des échantillons

Les sites de prélèvement des échantillons d'eau et des tilapias sont choisis le long du fleuve Couffo dans les villages de Fonkpodji, d'Aklinmè et de Zakan-Kossossa. Les échantillons d'eau (09 au total) sont prélevés avec des bouteilles de verre ambré préalablement lavées et décontaminées. Les échantillons sont prélevés en profondeur, en s'éloignant du fond du fleuve, et sont recueillis en tenant la bouteille de prélèvement et en la plongeant dans l'eau jusqu'à ce qu'elle soit entièrement immergée. Cette méthode d'échantillonnage manuel, couramment appelée « échantillonnage instantané », est le moyen le plus facile pour recueillir un échantillon d'eau [16]. La quantité de 1,5 L de volume d'eau prélevée par site constitue un échantillon composite de trois prélèvements de 0,5 L par point de prélèvement et par site. Une feuille d'aluminium est placée sur le goulot afin d'empêcher tout contact entre l'échantillon et le bouchon de plastique. Les tilapias prélevés (09 au total) en entier sont emballés dans du papier aluminium puis codés et mis dans une glacière contenant des blocs de glace. Les fiches de prélèvement sont remplies. Les échantillons prélevés sont conservés au frais à 4 °C jusqu'au moment de leurs analyses.

2-2-2. Préparation des échantillons

Tous les produits chimiques utilisés sont de qualité analytique. Les solvants aqueux ainsi que l'acétone, le dichlorométhane, l'hexane, le cyclohexane et le sulfate de sodium anhydre sont obtenus auprès de Merck Co (Darmstadt, Allemagne). Une solution standard stock (entre 75 et 550 pg / mL) est préparée par pesée exacte et la dissolution est effectuée dans l'acétone et stockée dans un congélateur à -30 °C sans exposition à la lumière. Les solutions étalons de travail (5 µg / mL) sont préparées par dilution appropriée de la solution standard stock avec le cyclohexane et conservées dans un réfrigérateur (4 °C). L'extraction liquide-liquide (LLE) est choisie pour l'eau. La procédure d'extraction liquide-liquide est adoptée à partir de la méthode EPA 351.0C [17]. On a placé 200 mL d'échantillons d'eau filtrés dans une ampoule à décanter de capacité 250 mL. L'extraction liquide-liquide est effectuée trois fois avec 20 mL de dichlorométhane. Les extraits sont mélangés avec du sulfate de sodium anhydre et séchés. L'extrait résultant est concentré à exactement 1 mL en utilisant l'évaporateur rotatif et de l'azote avant l'analyse. Un échantillon de 200 g de tilapia est haché et homogénéisé. Une quantité de 15 g de l'aliquote est pesée dans un verre et mélangée avec 50 mL de dichlorométhane dans une centrifugeuse pendant 2 minutes. On a ajouté 50 g de sulfate de sodium anhydre au mélange et remis dans une centrifugeuse pendant 1 minute. Le mélange est laissé au repos pendant 2 minutes, puis filtré à travers l'entonnoir Büchner de 9 cm, et filtré à nouveau à travers un filtre en papier (Wattman) et du sulfate de sodium anhydre. Les solvants sont évaporés à sec dans un évaporateur rotatif (35-40 °C). Le résidu séché est repris et on y ajoute 5 mL de cyclohexane. On a introduit dans une fiole jaugée de 2 mL contenant 50 µL de solution étalon de 20 mg / L, 1 mL de cette solution pour atteindre la finale de 2 mL en volume de cyclohexane.

2-2-3. Analyse des pesticides

Le Glyphosate, le Profénofos, l'Acétamipride et la Cyperméthrine sont les pesticides recherchés. La détermination des pesticides est réalisée par chromatographie en phase gazeuse. Un spectromètre de masse à haute résolution DSQII Thermo est utilisé. Le chromatographe utilisé pour l'analyse est un chromatographe en phase gazeuse Thermo Scientific équipé d'un injecteur split / splitless et une température contrôlée Interface GC-MS. Un passeur d'échantillon AS 3000 est utilisé. Un volume de 10 μ L d'aliquotes est injecté dans le chromatographe en phase gazeuse (CPG) d'exploitation à l'aide d'une seringue avec un débit d'injection de 20 μ L. La température initiale d'injection au niveau de l'injecteur est maintenue à 70 °C pendant 5 minutes, puis augmentée et maintenue pendant 10 minutes à 310 °C, puis à 100 °C / minute. La température de la colonne au niveau du four est maintenue à 70 °C pendant 4 minutes, puis augmentée jusqu'à 150 °C et à 50 °C / minute, ensuite à 235 °C et à 3 °C / minute, et enfin maintenue pendant 3 minutes à 300 °C et à 50 °C / minute. On a fait fonctionner le spectromètre de masse et les différentes pompes à vide afin d'atteindre un niveau de « Vacuum » stable pour l'injection. Les températures, ligne de transfert et le débit du gaz Hélium (une pureté de 99,99 %) sont réglés. L'analyse est effectuée avec un retard de filament multiplicateur de 5 minutes pour éviter le choc au niveau du filament d'ionisation. Les données sont soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs pour voir les différences entre les facteurs ($P(T > t) = 10\%$), ce qui a permis de comparer la teneur moyenne des différents résidus. Les facteurs concernés sont les sites et les échantillons. Ainsi, les teneurs en résidus de pesticides décelées dans les échantillons d'eau sont comparées à celles détectées dans les échantillons de tilapias. Le test de corrélation de Spearman est utilisé pour vérifier si les facteurs varient dans le même sens.

3. Résultats

L'analyse des échantillons d'eau et des tilapias prélevés dans le fleuve Couffo dans la commune de Djidja a montré la présence du Glyphosate, du Profénofos, de l'Acétamipride et de la Cyperméthrine.

3-1. Comparaison de la teneur en résidus de Glyphosate dans l'eau et les tilapias

La **Figure 1** illustre les résultats de la comparaison de la teneur en résidus de Glyphosate dans l'eau et les tilapias.

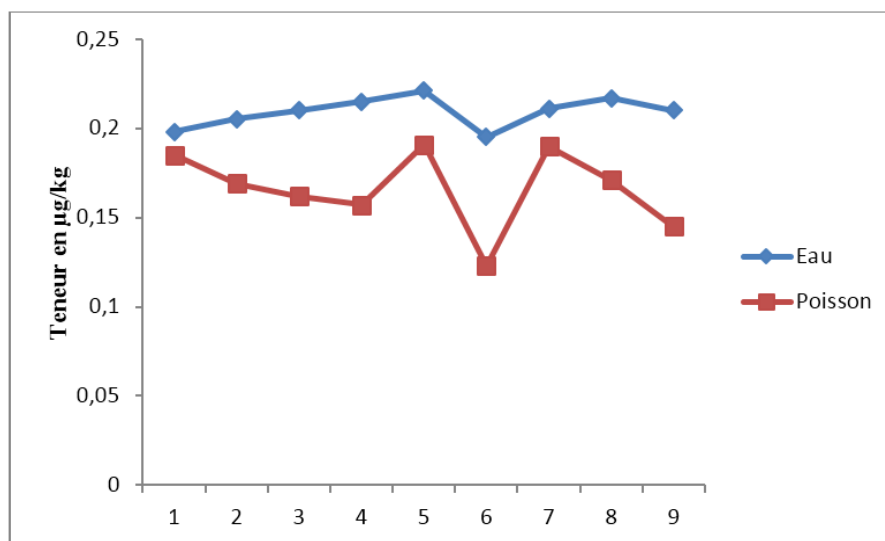


Figure 1 : Relation entre la teneur en résidus de Glyphosate dans l'eau et les tilapias

La **Figure 1** rend compte d'une relation très faible entre la teneur en résidus de Glyphosate dans l'eau et celle des tilapias. Le coefficient de corrélation (0,4529) vient confirmer les observations de la **Figure 1**. On retient de l'analyse du **Tableau 1** ci-dessous qu'à un seuil de significativité de 10 % seul l'échantillon influence la teneur en résidus de Glyphosate ($\mu\text{g} / \text{kg}$). Ainsi, il y a une différence significative entre la teneur en résidus de Glyphosate ($\mu\text{g} / \text{kg}$) dans l'eau et celle des tilapias. La teneur en résidus de Glyphosate ($\mu\text{g} / \text{kg}$) ne varie pas d'un site à l'autre et au sein de chaque site cette teneur ne varie pas d'un échantillon à l'autre.

Tableau 1 : Variation de la teneur en résidus de Glyphosate dans l'eau et les tilapias

Facteurs	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(> F)
Echantillon (eau et tilapias)	1	0.008407	0.008407	24.710	0.000325
Sites	3	0.000152	0.000051	0.149	0.928161
Echantillon : sites	1	0.000331	0.000331	0.972	0.343606

3-2. Comparaison de la teneur en résidus de Profénofos dans l'eau et les tilapias

Les résultats de cette comparaison sont présentés comme suit (**Figure 2**)

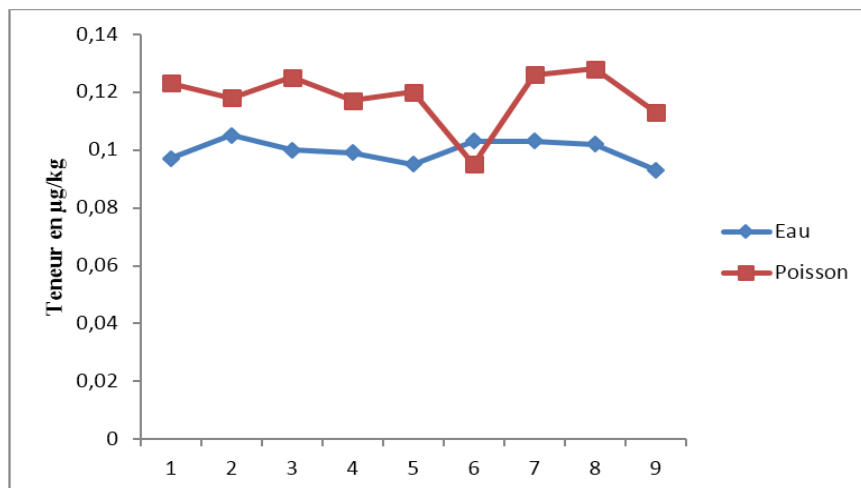


Figure 2 : Relation entre la teneur en résidus de Profénofos dans l'eau et les tilapias

La **Figure 2** fait ressortir qu'il y a une relation très faible entre la teneur en résidus de Profénofos dans l'eau et celle des tilapias. Il est à préciser que si la teneur croît dans un échantillon, elle décroît dans l'autre. Le coefficient de corrélation (-0,0404) vient confirmer les observations de la **Figure 2**. L'analyse du **Tableau 2** ci-dessous indique que, à un seuil de significativité de 10 %, seul l'échantillon influence la teneur en résidus de Profénofos ($\mu\text{g} / \text{kg}$). Ainsi, il y a une différence significative entre la teneur en résidus de Profénofos ($\mu\text{g} / \text{kg}$) dans l'eau et celle des tilapias. La teneur en résidus de Profénofos ($\mu\text{g} / \text{kg}$) ne varie pas d'un site à l'autre et au sein de chaque site cette teneur ne varie pas d'un échantillon à l'autre.

Tableau 2 : Variation de la teneur en résidus de Profénofos dans l'eau et les tilapias

Facteurs	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(> F)
Echantillon (eau et tilapias)	1	0.0015680	0.0015680	28.654	0.000173
Sites	3	0.0001992	0.0000664	1.214	0.346929
Echantillon : sites	1	0.0000701	0.0000701	1.281	0.279876

3-3. Comparaison de la teneur en résidus d'Acétamipride dans l'eau et les tilapias

La relation qui existe entre la teneur en résidus d'Acétamipride dans l'eau et les tilapias est présentée à travers la **Figure 3**.

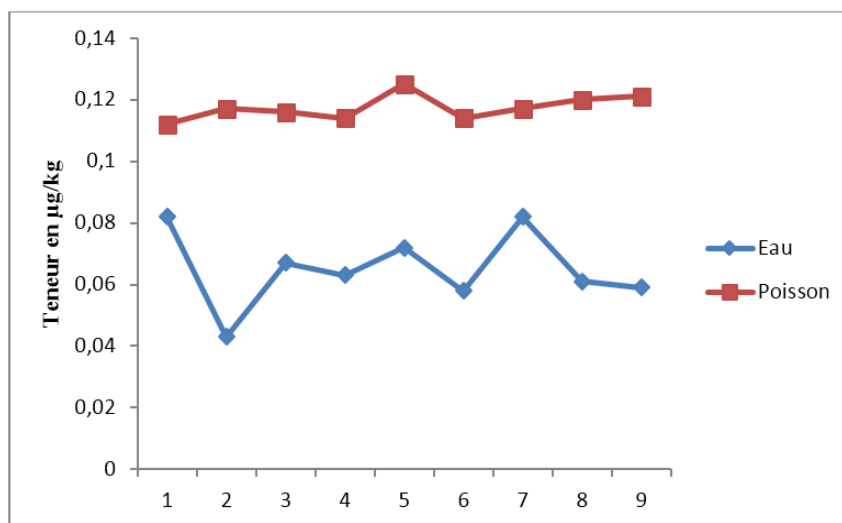


Figure 3 : Relation entre la teneur en résidus d'Acétamipride dans l'eau et les tilapias

La **Figure 3** montre qu'il y a une relation très faible entre la teneur d'Acétamipride dans l'eau et celle des tilapias. Il est à préciser que si la teneur croît dans un échantillon, elle décroît dans l'autre. Le coefficient de corrélation (-0,1014) vient confirmer les observations de la **Figure 3**. Il ressort de l'analyse du **Tableau 3** ci-dessous que, à un seuil de significativité de 10 %, seul l'échantillon influence la teneur en résidus d'Acétamipride ($\mu\text{g} / \text{kg}$). Ainsi, il y a une différence significative entre la teneur en résidus d'Acétamipride ($\mu\text{g} / \text{kg}$) dans l'eau et celle des tilapias. La teneur en résidus d'Acétamipride ($\mu\text{g} / \text{kg}$) ne varie pas d'un site à l'autre et au sein de chaque site cette teneur ne varie pas d'un échantillon à l'autre.

Tableau 3 : Variation de la teneur en résidus d'Acétamipride dans l'eau et les tilapias

Facteurs	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(> F)
Echantillon (eau et tilapias)	1	0.012220	0.012220	112.570	1.88e-07
Sites	3	0.000045	0.000015	0.138	0.936
Echantillon : sites	1	0.000004	0.000004	0.038	0.849

3-4. Comparaison de la teneur en résidus de Cyperméthrine dans l'eau et les tilapias

La comparaison de la teneur en résidus de Cyperméthrine dans l'eau et les tilapias a donné certains résultats (**Figure 4**). La **Figure 4** montre qu'il y a une relation très faible entre la teneur en résidus de Cyperméthrine dans l'eau et celle des Tilapias. Le coefficient de corrélation (0,6118) vient confirmer les observations de la **Figure 4**. L'analyse du **Tableau 4** ci-dessous met en évidence qu'à un seuil de significativité de 10 %, seul l'échantillon influence la teneur en Cyperméthrine ($\mu\text{g} / \text{kg}$). Ainsi, il y a une différence significative entre la teneur du Cyperméthrine ($\mu\text{g} / \text{kg}$) dans l'eau et celle des tilapias. La teneur en Cyperméthrine ($\mu\text{g} / \text{kg}$) ne varie pas d'un site à l'autre et au sein de chaque site cette teneur ne varie pas d'un échantillon à l'autre.

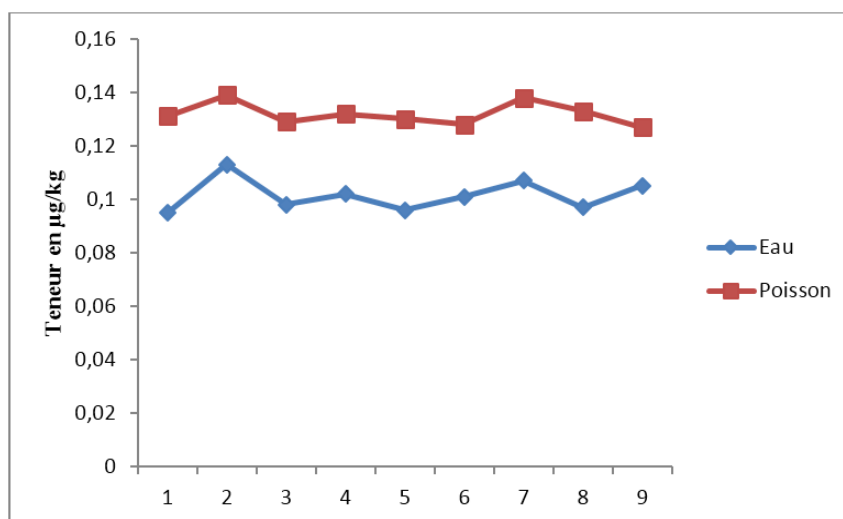


Figure 4 : Relation entre la teneur en résidus de Cyperméthrine dans l'eau et les tilapias

Tableau 4 : Variation de la teneur en résidus de Cyperméthrine dans l'eau et les tilapias

Facteurs	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(> F)
Echantillon (eau et tilapias)	1	0.004141	0.004141	128.277	9.18e-08
Sites	3	0.000033	0.000011	0.345	0.793
Echantillon : sites	1	0.000000	0.000000	0.010	0.921

4. Discussion

L'analyse des échantillons d'eau du fleuve Couffo révèle la présence des quatre pesticides (Glyphosate, Profénofos, Acétamipride et Cyperméthrine) recherchés. Le Glyphosate est détecté dans tous les échantillons d'eau à des dosages élevés, supérieurs à la norme recommandée pour l'eau potable qui a été de $0,1 \mu\text{g} / \text{L}$ par substance individualisée [18]. La persistance et la rémanence du produit ne peuvent pas expliquer à elles seules les valeurs rencontrées. Sa présence généralisée dans tous les échantillons à des teneurs élevées laisse présager d'une utilisation incontrôlée de ce produit. Ces concentrations sont inférieures à celles trouvées dans les ruisseaux Chamilles et Marais en Suisse [19], à celles enregistrées aux Etats-Unis [20, 21]), en France [22], en Hongrie [23] et en Norvège [24]. Mais les concentrations décelées dans les échantillons suscitent des doutes sur les risques de contamination des eaux par le Glyphosate longtemps considérés comme faibles. Les teneurs moyennes en Profénofos dans certains échantillons sont supérieures à la norme ($0,1 \mu\text{g} / \text{L}$), mais inférieures à celles décelées dans l'eau de puits en République de la Côte-d'Ivoire [25]. Les caractéristiques physico-chimiques influençant les risques de transfert de la Cyperméthrine vers les eaux et le risque de pollution des eaux [25] ont expliqué en partie les concentrations détectées qui sont supérieures à la norme. Les niveaux de contamination des pesticides vers les eaux de surface sont régulés par les facteurs structurels (topographie, distance de la parcelle au cours d'eau et pratiques agricoles), les facteurs climatiques (typologie des pluies sur le bassin versant et leur influence sur la variabilité spatiale et temporelle) et les facteurs biogéochimiques (importance et variation des teneurs en matière organique dissoute et particulaire, présence de microorganismes et leur influence sur l'adsorption, la désorption et la dégradation des pesticides) [26]. L'impact des pesticides dans un milieu aquatique est influencé par leur solubilité dans l'eau et la capacité de l'adsorption dans un organisme [27]. Dans les tilapias, les teneurs de chacun des principes actifs analysés sont inférieures à la norme concernant les limites maximales fixées [28, 29].

La teneur en résidus de Glyphosate des tilapias analysés est inférieure à celles détectées dans le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) [30]. De nombreuses études [31] ont rapporté que le Glyphosate a provoqué des lésions de foie et de reins chez le tilapia du Nil, après 96 heures d'exposition à des doses relativement élevées, une mortalité accrue a été observée. Pour le Profénofos, la concentration trouvée est inférieure à celles mesurées dans le poisson *oreochromis mossambicus* [32]. Le profénofos est toxique pour les poissons et les organismes aquatiques [33]. En ce qui concerne l'Acétamipride, sa teneur est inférieure à celles décelées dans les tissus du poisson *Oreochromis mossambicus* [34]. L'Acétamipride est faiblement toxique pour les poissons [35]. Quant à la Cyperméthrine, la teneur détectée est inférieure à celles dosées dans le poisson *Oreochromis mossambicus* [36]. Elle est très toxique chez les poissons d'eau douce [37]. Toutefois, les résidus de pesticides détectés dans la chair de ces *Tilapias guineensis* prélevés dans la commune constituent un bel exemple de contamination indirecte. Il est à signaler que ce niveau de pesticides dans les poissons peut nuire aux consommateurs [38]. On trouve vingt-sept espèces de poissons d'eau douce affectées par les produits phytopharmaceutiques en Europe [39]. Les pesticides constituent l'une des causes majeures de la baisse de la population de poissons [40]. Les poissons sont ainsi contaminés par les pesticides par contact de la peau, de la carapace et des branchies avec le milieu environnant (eau, matières en suspension), et par l'alimentation, en ingérant des végétaux (algues), des animaux [41]. Les organismes aquatiques accumulent les pesticides à des concentrations supérieures à celles mesurées dans l'eau par un processus de bioaccumulation.

5. Conclusion

L'état des lieux réalisé a permis d'établir un lien entre la contamination des eaux et la contamination des tilapias du fleuve Couffo. Les résultats d'analyse des différents échantillons indiquent que les eaux du fleuve Couffo dans la commune de Djidja ne sont pas exemptes de perturbations inadvertantes voire intentionnelles liées aux activités agricoles, qui s'exercent à leur périphérie. Ces eaux et les tilapias sont contaminés par le Glyphosate, le Profénofos, l'Acétamipride et la Cyperméthrine. Il existe une relation très faible entre la teneur en résidus des pesticides détectée dans l'eau et celle décelée dans les tilapias. La comparaison de la teneur en résidus de ces pesticides dans les eaux et les tilapias montre aussi qu'il y a une différence significative. Toutefois, il est nécessaire de prévoir un programme de surveillance des pesticides dans le fleuve Couffo.

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au laboratoire de l'Institut Régional du Génie Industriel des Biotechnologies et Sciences Appliquées (IRGIB-AFRICA) pour son accompagnement en ce qui concerne le prélèvement et l'analyse des échantillons. Nous n'oublions pas les Professeurs Christophe S. HOUSSOU et Patrick A. EDORH pour leurs conseils et contributions.

Références

- [1] - WWF (World Wide Fund for nature), "Biodiversité : victime silencieuse des pesticides", Rapport, Paris, France, (2012) 81 p.
- [2] - F. RAMADE, "Elément d'écologie. Ecologie appliquée", 6^{ème} édition. Paris, France, Dunod, (2005) 864 p.
- [3] - BANQUE MONDIALE, "Actualisation du plan de Gestion des Pesticides", Rapport final (Ghana, Mali, Sénégal), (2012) 69 p.

- [4] - B. GBAGUIDI, C. ALLAGBE, G. BANI, E. DOHOUE, E. GBEBOUTIN and R. HOUNDEKON, "Analyse des aspects socio-économiques de l'utilisation des POP", Rapport final, MEHU, Cotonou, Bénin, (2004) 34 p.
- [5] - H. ROCHE and A. TIDOU, "First Ecotoxicological Assessment Assay in a Hydroelectric Reservoir: The Lake Taabo (Côte-d'Ivoire)", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82 (2009) 322 - 326
- [6] - FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), "Agriculture mondiale 2015/2030", Rapport abrégé du Département économique et social, Rome, Italie, chap., 4 (2002) 75 - 81
- [7] - W. L. CHAO, L. GUANGHUA, C. JING and W. PERFANG, "Sublethal effects of pesticide mixtures on selected biomarkers of *Carassius auratus*", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28 (2009) 235 - 251
- [8] - F. A. ADIGOUN, "Impact des traitements phytosanitaires de niébé sur l'environnement et la santé des populations : cas de Klouékanmè et de la basse vallée de l'Ouémé (Bénin)", Mémoire de Maîtrise professionnelle, FLASH/UAC, Bénin, (2002) 77 p.
- [9] - P. T. AGBOHESSI, I. IMOROU TOKO and P. KESTEMONT, "Etat des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le bassin cotonnier béninois", *Cahier d'Agriculture*, 21 (2012) 46 - 56
- [10] - D. SCHRACK, X. COQUIL, A. ORTAR and M. BENOÎT, "Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique", *Innovations Agronomiques*, 4 (2009) 259 - 258
- [11] - L. J. GLIN, J. KUISEAU, A. THIAM, D. S. VODOUHE, B. DINHAM and S. FERRIGNOS, "Living with Poison: Problèmes of Endosulfan in West Africa Cotton Growing Systems", Pesticides Action Network UK, London, England, (2014) 48 p.
- [12] - E. PAZOU, L. C. GLIN, D. S. VODOUHE, J. FANOU, A. P. BABADANKPODJI, S. DASSOU, S. VODOUHE, B. VAN HATTUM, K. SWART and C. A. M. VAN GESTEL, "Pesticide contamination of the Dridji cotton plantation area in the Republic of Benin", *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14 (3) (2014) 8885 - 8902
- [13] - L. A. AKOMAGNI, "Monographie de la commune de Djidja. Programme D'Appui au Démarrage des Communes", *Afrique Conseil*, (2006) 44 p.
- [14] - INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique) "Résultats du Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 4)", Cotonou, Bénin, (2013) 40 p.
- [15] - F. H. AÏKPO, "Utilisation abusive des pesticides en milieu rural au Bénin : état de la situation environnementale dans la commune de Djidja", Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (DEA) de Géographie, FLASH/UAC, Bénin, (2011) 79 p.
- [16] - CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, "Manuel des protocoles d'échantillonnage pour analyse de la qualité de l'eau au Canada", (2011) 219 p.
- [17] - US EPA (Environmental Protection Agency), "Method 351 OC, Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction (Revision 3-December, 1996)", SW 846 CH4, (1996) 2 - 1
- [18] - OMS (Organisation Mondiale de la Santé), "Directives de qualité pour l'eau de boisson", 3^e Edition, Vol 1, Recommandations, Genève, Suisse, (2004) 110 p.
- [19] - C. CORVI, P. ZIMMERLI, D. ORTELIL, S. KHIM-HEANG and K. BECKER VAN SLOOTEN, "Métaux et micropolluants organiques dans les eaux, les moules et les poissons du Léman" *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut.*, Compagne 2004, (2005) 55 - 78
- [20] - W. A. BATTAGLIN, D. W. KOLPIN, E. A. SCRIBNER, K. M. KUIVILA and M. W. SANDSTROM, "Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern Streams 2002" *Journal of the American Water Resources Association*, 41 (2005) 323 - 332
- [21] - R. H. COUPE, S. K. KALKHOFF, P. D. CAPEL and C. GREGORIE, "Fate and transport of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters of agricultural basin", *Pesticides Management Science*, 67 (2011) doi : 10

- [22] - A. VILLENEUVE, S. LARROUDE and J. F. HUMBERT, "Herbicide Contamination of Freshwater Ecosystem : Impact on Microbial Communities". In *Pesticides : Formulations, Effects, Fate*, Stoytcheva M. (Ed.). HAL, In Tech Open : France, (2011) 285 - 312. HAL Id : bioenxo-00567203
- [23] - M. MÖRTL, G. NEMETH, J. JURACSEK, B. DORVAS, L. KAMP, F. RUBIO and A. SZEKAS, "Determination of Glyphosate residues in Hungarian water samples by immunoassay", *Microchemical Journal*, 107 (2013) 143 - 151
- [24] - G. H. LUDVIGSEN, "The Agricultural Environmental Monitoring Program in Nordic Workshop on pesticide monitoring in the environment", UPPsala, (2006) 78 - 82
- [25] - S. K. TRAORE, K. MAMADOU, A. DEMBELE, P. LAFRANCE and P. HOUENOU, "Contamination de l'eau souterraine par des pesticides en régions agricoles en Côte-d'Ivoire (centre-Sud et Sud-ouest)", *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, 1 (1) (2006) 1 - 9
- [26] - E. CHARBONNIER, A. RONCEUX, A. S. CARPENTIER, H. SOUBELET and E. BARRIUSO, "Pesticides. Des impacts aux changements de pratiques", Edition Quae, (2015) 399 p.
- [27] - L. PEIREIRA, M. N. FERNANDEZ and C. B. MARTNEZ, "Hematological and biochemical alteration in the fish *Prochilodus lineatus* caused by the herbicide Clomazone", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36 (2013) 1 - 8
- [28] - REGLEMENT (CE) N°396/2005 du "Parlement européen et du Conseil du 23 Février 2005 contenant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale et animale et modifiant la Directive 91/414/CEE du Conseil", Paru dans le *Journal officiel de l'Union Européenne* du, (16/3/2005) 16 p.
- [29] - CODEX ALIMENTARIUS, "Résidus de pesticides dans les aliments et les aliments pour animaux", OMS/FAO, (2004) 178 p.
- [30] - O. S. AYOOLA, "Toxicity of glyphosate herbicide on Nil tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenil", *African Journal of Agricultural Research*, 03 (12) (2008) 825 - 834
- [31] - N. BENKEBLIA, "Impact du glyphosate sur la santé et l'environnement, ce que dit le silence", Agence Universitaire de la Francophonie, (2017) 7 p.
- [32] - J. WENKATESWARA RAO, D. SHILPANJALI, P KAVITHA and S. S. MADHAWENDRA, "Toxic effects of profenofos on tissue acetylcholinesterase and gill morphology in a euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*", *Arch. Toxicol.*, 77 (4) (2003) 227 - 232
- [33] - <http://ic-agochem.com> (consulté le 26 mai 2017).
- [34] - S. J. RAJ and J. BABY, "Impact of Acetamiprid Toxicity on Lactate Dehydrogenase in some Tissues of the Fish *Oreochromis mossambicus*", *International Journal of Zoological Research*, 11 (2015) 112 — 115.
- [35] - CRAAQ (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec), "Effets toxiques des matières actives. Toxicology de la matière active acétamipride", *Fiche technique*, (2017) 4 p.
- [36] - K. THAYAPPAN, D. MAGHIL, R. A. R. ANADURAI and S. NARAYANASAMY, "Effect of Cypermethrin Toxicity in Gill of the Fish *Oreochromis mossambicus*", *JOURNAL of MODERN BIOTECHNOLOGY*, 03 (3) (2014) 35 - 41
- [37] - CRAAQ (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec), "Effets toxiques des matières actives. Toxicology de la matière active cyperméthrine", *Fiche technique*, (2014) 4 p.
- [38] - S. K. KONAR, "Pesticides and aquatic environment", *Indian Journal of Fisheries*, (2011) 80 - 85
- [39] - L. IBRAHIM, T. G. PREUSS, H. T. RATTE and U. HOMMAN, "A list of fish species that are potentially exposed to pesticides in edge-of-field water bodies in European Union-a first step toward identifying vulnerable representatives for risk assessment", *Environmental Science and Pollution Research*, 20 (2013) 2679 - 2687
- [40] - N. L. SCHOLZ, E. FLEISHMAN, L. BROWN, I. WERNER, M. L. JOHNSON, M. L. BROOK, C. L. MICHAELMORE and D. A. SCHLENK, "Perspective on modern pesticides, pelagic fish declines, and unknown ecological resilience in highly managed ecosystem", *Bio. Science*, 62 (2012) 428 - 434
- [41] - F. CLOSTRE, "Les organismes aquatiques de rivières et la chlordécone, ONEMA, (2017) 4 p.