



Toxicité aigüe et subaigüe de l'insecticide Acer 35 EC et de la lambda-cyhalothrine chez les œufs fécondés et les géniteurs du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*)

Mahugnon A. B. HOUNDJI^{1,4*}, Ibrahim IMOROU TOKO¹, Léa GUEDEGBA^{1,4}, Prudencio T. AGBOHESSI¹, Edith YACOUTO¹, Bruno SCHIFFERS², Marie-Louise SCIPPO³, Patrick KESTEMONT⁴

1 Université de Parakou, Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ), 03BP 61, Parakou-Université, Bénin. laraeq.up@yahoo.com

2 Université de Liège- Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire de Phytopharmacie, Passage des Déportés, 2. BE-5030 Gembloux, Belgique

3 Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Laboratoire d'Analyse des Denrées Alimentaires (LADA), bât. B43bis, 10 Avenue de Cureghem, Sart-Tilman, B-4000 Liège, Belgique

4 Université de Namur, Unité de Recherche en Biologie Environnementale et Evolutive (URBE), Rue de Bruxelles 61, 5000 Namur, Belgique

Reçu le 22 Mai 2018 - Accepté le 15 Décembre 2019

Acute and subacute toxicity of Acer 35EC insecticide and lambda-cyhalothrin on fertilized eggs and broodstock of African catfish (*Clarias gariepinus*)

Abstract: Acer 35EC is the trade name of one of the insecticides (binary acaricide composed of 20 g/l of lambda-cyhalothrin and 15 g of acetamiprid) used in the plant protection program of cotton in northern Benin. The present study was initiated in order to contribute to the ecotoxicological evaluation programs of the impacts of agricultural pesticides in the aquatic ecosystems of Benin cotton basin. It aims to determine, under laboratory conditions, the acute and subacute toxicity of Acer 35EC, lambda-cyhalothrin (the most toxic of its active ingredients) and a locally made Cocktail (whose composition is similar to commercial Acer: 20 g of lambda-cyhalothrin + 15 g of acetamiprid dissolved in 1 L of acetone) on eggs and broodstock of *Clarias gariepinus*, an excellent local biological model species with regard to its high representativity in the aquatic ecosystems. Thus, exposure tests for these biocides were conducted in aquariums with fertilized eggs and female broodstock of *C. gariepinus*, in accordance with OECD guidelines 203 and 212. These investigations indicate that, with both eggs and broodstock, the survival rates are, whatever the pesticide used, inversely proportional to the nominal concentrations tested ($p < 0.05$). In eggs, lambda-cyhalothrin is more toxic ($LC_{50-48h} = 0.150$ ppm) than the Cocktail ($LC_{50-96h} = 13.26$ ppm) and the Acer 35 EC ($LC_{50-96h} = 73.54$ ppm). However, Acer 35EC was at least 420 times more toxic to the broodstock ($LC_{50-96h} = 0.175$ ppm) than on the eggs. In addition, behavioral abnormalities as well as cutaneous lesions were also observed in the brood stock exposed to Acer 35EC, indicating a probable alteration of some vital functions, in particular nervous and immune.

Keywords: *Clarias gariepinus*, Acute toxicity, Acer 35EC, Lambda-cyhalothrin, eggs, broodstock.

Résumé : L'Acer 35EC est le nom commercial d'un des insecticides (acaricide binaire composé de 20 g/l de lambda-cyhalothrine et 15 g d'acétamipride) utilisés dans le programme phytosanitaire du cotonnier au nord Bénin. Dans le but de contribuer aux programmes d'évaluation des impacts écotoxicologiques des pesticides agricoles dans les écosystèmes aquatiques récepteurs du bassin cotonnier béninois, la présente étude a été initiée. Elle vise à déterminer en condition de laboratoire la toxicité aigüe et subaigüe de l'Acer 35EC, de la lambda-cyhalothrine (la plus toxique de ses matières actives) et d'un cocktail

(de composition semblable à l'Acer commercial : 20 g de lambda-cyhalothrine + 15 g d'acétamipride dissous dans 1 l d'acétone) chez les œufs et les adultes matures (généiteurs) de *Clarias gariepinus*, excellent modèle biologique de nos eaux au regard de sa forte représentativité dans les milieux récepteurs. Ainsi, des tests d'exposition à ces biocides ont été effectués en aquariums sur les œufs fécondés et les généiteurs femelles de *C. gariepinus*, conformément aux lignes directrices 203 et 212 de l'OCDE. Il ressort de ces investigations que, aussi bien avec les œufs que les généiteurs, les taux de survie sont, quel que soit le pesticide utilisé, inversement proportionnels aux concentrations nominales testées ($p < 0,05$). Chez les œufs, la lambda-cyhalothrine est plus toxique (CL50-48h = 0,150 ppm) comparativement au Cocktail (CL50-96h = 13,26 ppm) et à l'Acer 35 EC (CL50-96h = 73,54 ppm). Chez les généiteurs, l'Acer 35EC (CL50-96h = 0,175 ppm) s'est révélé au moins 420 fois plus toxique que chez les œufs. Par ailleurs, des troubles comportementaux de même que des lésions cutanées ont été également observés chez les généiteurs exposés à l'Acer 35EC, indiquant une altération probable de certaines fonctions vitales, notamment nerveuses et immunitaires.

Mots clés: *Clarias gariepinus*, Toxicité aiguë, Acer 35EC, Lambda-cyhalothrine, œufs, généiteurs.

1. Introduction

L'espace UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) constitue le principal bassin cotonnier africain grâce à la production du Burkina Faso, du Mali, du Bénin et de la Côte d'Ivoire, soit 2.123.012,6 tonnes à l'issue de la campagne 2016-2017 (ICAC, 2017). Dans cette zone, la culture du coton présente à elle seule près de 90% du marché des insecticides (Degla, 2012). Le Bénin à lui seul a floré la barre des 500.000 tonnes durant cette même campagne grâce à une forte expansion de la production dans le nord du pays (d'après les statistiques du Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche MAEP, 2017). La culture du coton étant essentiellement de type conventionnel au Bénin (Degla, 2012), cette belle performance s'accompagne inévitablement d'une utilisation accrue de pesticides. Les principales molécules phytosanitaires utilisées depuis la campagne 2013-2014 appartiennent à la famille des pyréthrinoides, des néonicotinoïdes et/ou des organophosphorés (Gouda, 2018b ; Zoumenou, 2015, 2018) Tous ces biocides utilisés dans les bassins culturels font des écosystèmes aquatiques leurs réceptacles favoris grâce au ruissellement (Carlier et al., 1996), au dérive (Bylemans, 2001 ; Gouda et al., 2018) ou encore à l'infiltration (Gillium, 2007 ; Chao et al., 2009). Dans le cadre des monitorings effectués de 2015 à 2017 par le Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ) de l'Université de Parakou (UP) à travers le projet AquaTox-Bénin (<http://www.aquatox-benin.be>), des résidus de pesticides, notamment l'endosulfan (0,22 à 101,35 µg/l (ppb)), l'alpha-Hexachlorocyclohexane (0,23 à 2,08 µg/l), le chlorpyrifos (0,95 à 1,50 µg/l), le DDT (0,92 à 1,69 µg/l), le DDE (0,18 à 2,81 µg/l), la

cyperméthrine (0,16 à 0,30 µg/l), la perméthrine (0,77 à 13,75 µg/l), la beta-Cyfluthrine (0,18 à 0,27 µg/l), l'acétamipride (0,20 à 7,70 µg/l) et la lambda-cyhalothrine (0,23 à 8,80 µg/l), ont été retrouvés dans les retenues d'eau de Ba-tran (Commune de Banikoara) et de Gambanè (commune de Kandi) et Sori (commune de Gogounou). Or, il a été démontré que ces biocides peuvent dangereusement impacter la biodiversité aquatique (Köprücü et Aydın, 2004 ; Agbohessi, 2014 ; Agbohessi et al., 2015a et 2015b ; Bonansea et al. 2016 ; Bonifacio et al. 2017). Et plusieurs études font déjà état de la régression des captures dans les plans et cours d'eaux béninois (Lalèyè et al., 2004 ; Chikou et al. 2008).

Selon Imorou Toko et al. (2011) les retenues d'eaux fournissent plus de 60% (environ 800 tonnes) des poissons frais consommés dans la région nord du Bénin. Et au vu de l'importance de ces écosystèmes aquatiques, cette pollution de plus en plus accrue dont ils sont sujets, soulève des interrogations sur la vulnérabilité des précieuses ressources halieutiques dont ils regorgent. Parmi les espèces de poissons rencontrées dans ces milieux, le poisson-chat, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), occupe une place de choix. En effet, c'est un poisson très prisé par la population locale et représentatif des poissons vivants dans les biotopes aquatiques béninois (Viveen et al., 1985, Lalèyè et al. 2004, Imorou Toko, 2007 et Chikou et al., 2008). Malheureusement, sa saison de frai (juin à septembre) (Viveen et al. 1985 ; Legendre et Teugels, 1991 ; De Graaf et al. 1996), coïncide chaque année, à l'instar de plusieurs autres espèces aquatiques avec la campagne agricole (période d'utilisation intensive des pesticides). Les généiteurs et leurs progénitures sont donc directement exposés en cette période cruciale à de fortes concentrations de pesticides agricoles.

* Auteur Correspondant : djialex2000@yahoo.fr

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

Afin d'évaluer la sensibilité de ces phases (œufs fécondés et géniteurs) à une toxicité aiguë par molécules les plus utilisées, l'Acer 35EC (fabriqué par Sinochem Agro Co., Ltd) a été utilisé en condition de laboratoire. Il s'agit d'un acaricide binaire utilisé durant le 3^{ème} et le 4^{ème} traitement du calendrier phytosanitaire du cotonnier, qui se présente sous forme de concentré émulsionnable importé et commercialisé officiellement au Bénin par les Importateurs et Distributeurs d'Intrants agricoles (IDI). Il est composé de 15 g d'acétamipride (Néonicotinoïdes) et 20 g de lambda-cyhalothrine (Pyréthri-noïdes) et a été introduit dans l'itinéraire technique du cotonnier depuis la campagne agricole 2014 – 2015. La présente étude constitue donc une étape préalable à une évaluation plus approfondie en conditions contrôlées des effets écotoxicologiques des pesticides chimiques utilisés en zone cotonnière à travers des expositions chroniques

2. Matériel et méthodes

2.1. Cadre et conditions de l'étude

Dans le cadre de la présente étude plusieurs essais ont été réalisés aussi bien sur la phase embryonnaire (œufs fécondés) que sur les géniteurs de *C. gariepinus*. Tous ces essais ont été réalisés en conditions contrôlées dans les installations expérimentales d'élevage aquacole du Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ) de la Faculté d'Agronomie (FA) de l'Université de Parakou (UP, Bénin). Chaque essai a été réalisé en deux étapes successives. Un pré-test a été premièrement effectué sur la base des concentrations létales 50 (CL50) de la lambda-cyhalothrine (matière active la plus toxique de l'Acer car lipophile) chez différentes espèces de poissons dans la littérature (CL50-96h est de 0,24 µg/l chez *Oncorhynchus mykiss*, 0,5 µg/l chez *Cyprinus carpio* et 0,81 µg/l chez *Cyprinodon variegatus*, selon Hill, 1985a, b,c et 5 µg/l chez *Clarias batrachus* selon Kumar, 2008). Ce pré-test a permis de déterminer la plus faible concentration qui engendre 100% de mortalité afin de cerner la gamme potentielle de concentrations qui pourraient être létales. Après le pré-test le test proprement dit visant à déterminer la toxicité aiguë de la molécule (ou du produit) a été effectué après définition d'une gamme de concentrations dont les valeurs sont inférieures/égales à la concentration minimale qui engendre les 100% de mortalité.

2.2. Matériel chimique

Le matériel chimique était composé principalement de l'insecticide Acer 35EC, de la lambda-cyhalothrine et d'un Cocktail de formulation identique à l'Acer 35EC (mélange homogène de 20 mg de lambda-cyhalothrine + 15 mg d'acétamipride dissous dans 1mL d'acétone). Ce Cocktail a été produit au LaRAEAQ à

partir des matières actives pures de l'Acer 35EC et dans les mêmes proportions afin d'apprécier les effets synergiques/antagoniques éventuels liés à la présence de l'acétamipride beaucoup moins toxique (Tableau 1) d'une part, et du solvant, adjuvants et autres additifs dans l'Acer 35EC commercial, d'autre part. Ces 3 produits chimiques ont été testés durant la phase embryonnaire (œuf), tandis que seule la toxicité aiguë de l'Acer 35EC a été évaluée chez les géniteurs. En effet, l'insecticide Acer 35EC est un concentré émulsionnable conditionné dans des bouteilles en plastique de 0,5 l qui se présente sous forme d'un liquide visqueux jaunâtre. C'est un binaire acaricide ayant l'acétamipride (15 g/l) et la lambda-cyhalothrine (20 g/l) comme matières actives et a été acquis auprès des services officiels de mise en place des intrants agricoles du Ministère en charge de l'agriculture. La lambda-cyhalothrine et l'acétamipride utilisées se présentent respectivement sous forme de poudres beige et jaunâtre. Elles ont été conditionnées dans des flacons de 15 g avec des taux de pureté respectif de 97,1% et 97,4%. Elles ont été acquises auprès de la firme OMNICHEM-AJINOMOTO en Belgique et conservées à une température de +4°C. Les principales caractéristiques physicochimiques de ses deux molécules actives sont présentées dans le Tableau 1. En plus des pesticides testés, l'acétone (pureté ≥ 99,5%) a été utilisé. C'est un solvant aprotique polaire transparent et inflammable souvent utilisé dans les laboratoires pour une dissolution efficacement (99,99%) des composés lipophiles dont la lambda-cyhalothrine. Sa température de fusion est de - 94°C et celle d'ébullition de 56°C. Elle a une densité de 0,791 g/ml à 25°C et une pression de vapeur de 184 mmHg à 20°C. C'est un composé très soluble dans l'eau (une molécule polaire à chaîne carbonée courte), ce qui justifie son choix dans le cadre de la présente étude. Il a été acquis auprès de la Firme SIGMA-ALDRICH, GmbH – Germany.

2.3. Matériel biologique

Les ovules fécondés utilisés dans le cadre des présentes expérimentations ont été obtenus par reproduction artificielle de *C. gariepinus* au LaRAEAQ selon la procédure décrite par de De Graaf et Janssen (1996). L'OVAPRIM® (Hormone synthétique composée de GnRH analogue et d'un inhibiteur de la dopamine) a été utilisé pour induire la maturation finale des ovocytes chez les géniteurs femelles sélectionnés. Les géniteurs mâles (980 ± 0,18 g) et femelles (738 ± 15,42 g) utilisés ont été acquis à la ferme agroécologique Songhaï de Attagara (9°26'22" N et 2°41'28" E) située à environ 10 km de Parakou, et acclimatés pendant 14 jours dans des conditions optimales (température : 28,2 ± 1,05°C ; pH : 6,00 ± 0,05 et Oxygène dissous : 6,51 ± 0,10 mg/l) avant les manipulations, conformément aux directives 203 de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique). Ils ont été nourris deux

fois par jour à 2% de leur biomasse (Hogendoorn, 1983) avec un aliment commercial pour reproducteurs de poissons-chats (6 mm, 46% de protéine, Guessant). Pour chaque Essai, trois (03) mâles et six (06) femelles tous mûres ont été utilisés.

L'essai sur les géniteurs a concerné uniquement les femelles de cette espèce. Ainsi, un lot de 90 femelles matures (poids individuel = $480,7 \pm 13,9$ g et longueur totale individuelle = $33,0 \pm 0,2$ cm) a été également ac-

quis à la ferme agroécologique Songhai de Attagara et transporté dans deux viviers en plastique de 200 litres chacun jusqu'au LaRAEAQ. Une fois au Laboratoire les poissons ont été répartis en 3 lots de 30 poissons dans 3 tanks de 1 m³ et acclimatés dans les mêmes conditions que les géniteurs utilisés pour les essais de toxicité sur les œufs.

Tableau 1: Caractéristiques physicochimiques des matières actives de l'Acer 35EC

Table 1: Physicochemical characteristics of Acer 35EC active ingredients

Substances actives	Log <i>K_{ow}</i> 20°C	*FP (%)	Pression de va- peur (Pa à 25°C)	Solubilité dans l'eau (mg/L)	DT ₅₀ (eau) en jours	Références
Acétamipride (C ₁₀ H ₁₁ ClN ₄)	0,8	12,8	<1e-6	2950 (pH 7)	Stable (pH 4 – 7)	Agritox (2002)
Lambda-cyhalothrine (C ₂₃ H ₁₉ ClF ₃ NO ₃)	7	81,7	0,2 µPa à 20°C	5,10 ⁻³ (pH 6,5)	≥7 (pH 9) Sta- ble (pH 5,2 – 6,9)	Agritox (2002); Li-Ming He et al. (2008)

*FP (facteur de perméabilité du chorion) = $11,1 \times \log Kow + 3,97$ (Helmstetter et Alden, 1995); Log Kow est le coefficient de partage octanol/eau ;DT est le temps de dégradation de 50% dans l'eau.

2.4. Dispositifs expérimentaux

Au total huit (08) aquariums en verre d'un volume de 25 l chacun ont été utilisés lors des essais sur les œufs. Ces aquariums ont été disposés sur des étagères et contenaient chacun 10 l de solution expérimentale à chaque fois. Dans chaque aquarium trois auges de fabrication locale (paniers en plastique de 0,5 l recouvert de filet moustiquaire de 100 µm environ de maille) ont été disposées pour l'incubation des œufs, constituant ainsi les 3 reliquats d'un même traitement. Chaque aquarium a été muni d'un diffuseur d'air qui a fonctionné 24 h/24 pour améliorer l'oxygénation de l'eau.

Pour la détermination de la toxicité aiguë de l'Acer 35EC chez les géniteurs de *C. gariepinus* 14 aquariums en verre de 130 l chacun ont été utilisés. Chaque aquarium contenait 100 l de la solution d'essai correspondant à une concentration donnée, et pour chaque traitement des duplicats ont été réalisés.

2.5. Concentrations expérimentales

2.5.1. Essais sur les œufs fécondés

Lors des pré-tests effectués pour chaque produit testé, les concentrations suivantes ont été utilisées:

- Lambda-cyhalothrine (ppm): 0; 0 + acétone; 0,1; 0,2 et 0,3 ;
- Acer 35EC (ppm): 0; 50; 100 et 150;
- Cocktail (ppm): 0; 0 + acétone; 10; 20; 40 et 50.

Pour les essais de toxicité aiguë proprement dit, les concentrations nominales testées sont:

- 0 ; 0 + acétone ; 0,05 ; 0,1 ; 0,15 ; 0,25 et 0,3 ppm pour la lambda-cyhalothrine ;
- 0; 30; 60; 90 et 120 ppm pour l'Acer 35 EC; et

- 0; 0 + acétone; 5; 10; 15; 20 et 25 ppm pour le Cocktail.

Des témoins acétone ont été testés lors des essais impliquant la lambda-cyhalothrine afin de déterminer la part de mortalité que pourrait engendrer ce solvant de dissolution indépendamment des molécules testées. Ces témoins contenaient 0,3 et 25 ppm d'acétone, respectivement pour la lambda-cyhalothrine et le Cocktail.

2.5.2. Essai sur les géniteurs

Les concentrations d'Acer 35EC testées chez les géniteurs étaient de 0 ; 0,1 ; 1 et 5 ppm pour le pré-test ; et 0 ; 0,05 ; 0,10 ; 0,15 ; 0,20 ; 0,25 et 0,30 ppm pour le test proprement dit.

2.6. Conduite expérimentale et données collectées

Les solutions expérimentales utilisées lors des essais avec la lambda-cyhalothrine et le Cocktail ont été obtenues à partir de solutions mères contenant 1 mg/ml d'acétone pour la lambda-cyhalothrine, et 20 mg de lambda-cyhalothrine + 15 mg d'acétamipride dans 20 ml d'acétone pour le Cocktail.

Lors des essais sur les œufs, 200 mg d'ovules fertilisés (environ 100 œufs) par auge ont été à chaque fois incubés durant 48 heures, dans les solutions expérimentales correspondantes respectivement aux concentrations testées. Les œufs ont été bien étalés et les auges disposés de façon qu'ils soient complètement immergés sous environ 5 cm de solution d'exposition. Les paramètres physicochimiques de l'eau (température, pH et oxygène dissous) ont été relevés dans chaque aquarium juste avant le début de l'incubation, et toutes les 12 heures jusqu'à la fin de l'incubation. Vingt (20) minutes après le début de l'incubation, les ovules non fé-

condés (qui blanchissent, contrairement aux œufs fécondés qui gardent une couleur verdâtre avec une tâche rouge à l'intérieur ; Figure 1) ont été enlevés de chaque auge à l'aide d'une pipette pasteur. Le reste des œufs fécondés est alors compté par auge. Durant l'incubation, les auges ont été régulièrement observées (toutes les 4 heures) afin de compter et enlever les œufs morts. Tous ces essais ont été réalisés dans des conditions statiques, sans renouvellement des solutions d'essais durant les 48 heures d'exposition aigüe.

Pour les géniteurs, le lot de poissons utilisé a été validé à la fin de la période d'acclimatation étant donné que les mortalités cumulées enregistrées étaient de 1,1% dans les 3 tanks, donc conforme aux lignes directrices 203 de l'OCDE (mortalité cumulée < 5%). Quatre (4) géniteurs femelles de *C. gariepinus* ont été utilisés par

aquarium. L'essai qui a duré 96 heures a été réalisé en condition semi-statique, avec un renouvellement total de la solution expérimentale toutes les 24 heures pour pallier les variations de concentrations nominales dues éventuellement à la dégradation des molécules ou leur absorption (sur les parois des aquariums ou par les poissons). Les paramètres physicochimiques de l'eau (température de l'eau, pH et oxygène dissous) ont été mesurés deux fois par jour (matin et soir) dans tous les aquariums. Les poissons morts sont enlevés et comptés par intervalle de 4 heures dans chaque aquarium. Les comportements inhabituels des poissons tels que l'agressivité, la perte de coordination/équilibre, l'hyperactivité, les immobilités atypiques/léthargie, la nage rapide et les lésions cutanées ont été recensés dans chaque aquarium pendant l'exposition.

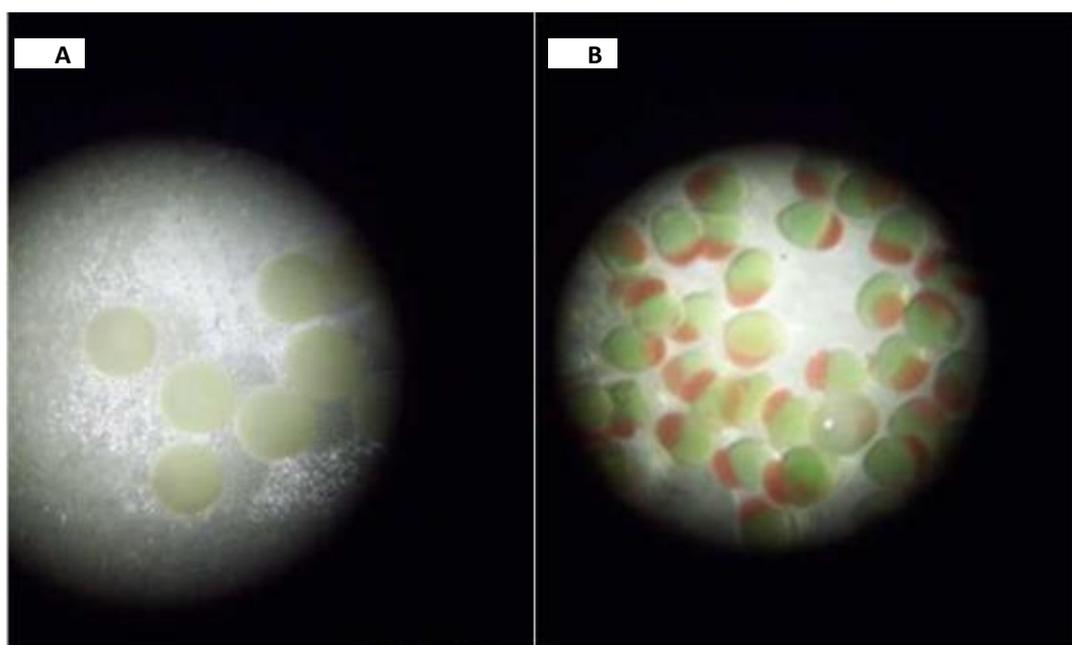


Figure 1: Photos d'ovules de *Clarias gariepinus* observés à la loupe binoculaire; A = ovules non fécondés; B = ovules fécondés.

Graph 1: Eggs pictures of *Clarias gariepinus* observed with a binocular magnifying glass; A = unfertilized eggs; B = fertilized eggs.

2.7 Traitement et analyses statistiques des données

Sur la base des mortalités relevés durant les essais avec les œufs fécondés et les géniteurs, les taux de survie (%) de même que les concentrations létales qui tuent 5 à 50% en 48 heures d'incubation (CL5-50-48h) ont été déterminées pour la lambda-cyhalothrine, l'Acer 35EC et le Cocktail chez les œufs; ces mêmes paramètres ont été déterminés chez les géniteurs exposés durant 96 heures (CL5-50-96h) à l'Acer 35EC. Pour chaque produit testé, la concentration sans effets observés (CSEO) et la concentration minimale avec effets

observés (CMEO) ont été également déterminées aussi bien chez les œufs que les géniteurs, par comparaison avec les traitements contrôles grâce au test de Dunnett. Le cas échéant, la normalité des données a été évaluée en utilisant le test de Shapiro-Wilk (Agbohessi et al., 2013). Tous les paramètres utilisés pour évaluer la toxicité aigüe et subaigüe durant cette étude (Taux de survie, CL5-50, CSEO, CMEO) de même que les graphiques ont été obtenus à l'aide du logiciel statistique de traitement des données toxicologiques, CETIS (Comprehensive Environmental Toxicity Information System, CETIS v1.9.2, 2015-McKinleyville, CA 95519, USA).

3. Résultats

3.1. Taux de survie des œufs et des géniteurs de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës des pesticides testés

Durant les essais effectués sur les œufs fécondés de *C. gariepinus*, les valeurs moyennes de la température (T°C), de l'oxygène dissous (O₂) et du pH étaient respectivement de $30,95 \pm 0,18^\circ\text{C}$, $5,45 \pm 0,20$ mg/l et $6,71 \pm 0,20$. Avec les géniteurs, ces valeurs ont été de $27,05 \pm 0,10^\circ\text{C}$, $5,05 \pm 0,07$ mg/l et $6,58 \pm 0,05$ respectivement. Dans tous les cas on peut noter que la qualité physicochimique des solutions d'essais n'a pas significativement varié ($p > 0,05$) dans les aquariums.

Les différents essais de toxicité aiguë des insecticides réalisés aussi bien avec les œufs que les géniteurs de *C. gariepinus* ont montré que le taux de survie est inversement proportionnel aux concentrations nominales testées ($p < 0,05$; Figure 2), quel que soit le pesticide utilisé. Chez les œufs (Figure 2, A, B et C), pour tous les produits utilisés, les concentrations testées ont entraîné une diminution significative ($p < 0,05$) du taux de survie comparativement aux contrôles, à l'exception de la lambda-cyhalothrine qui n'a pas engendré de différence significative ($p > 0,05$) entre les taux de survie enregistrés avec le control (0 ppm) et ceux observés avec les concentrations de 0,05 et 0,10 ppm.

Chez les géniteurs, aucune mortalité n'a été observée avec les concentrations de 0,05 et 0,1 ppm à l'instar du contrôle (Figure 2, D).

3.2. Concentrations létales et sublétales des pesticides testés chez les œufs et les géniteurs de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës

Les CL₅₀, les CSE₀ et les CME₀ des différents pesticides testés sur les œufs et les géniteurs de *C. gariepinus* sont présentées dans le Tableau 2. L'analyse de ce tableau montre que chez les œufs, la lambda-cyhalothrine demeure plus toxique comparativement au cktail et à l'Acer 35 EC qui semble le moins toxique. Cependant chez les géniteurs, l'Acer 35EC s'est révélé beaucoup plus toxique (*plus de 420 fois*) que chez les œufs.

3.3. Anomalies comportementales observées chez les géniteurs femelles de *C. gariepinus* exposés à l'Acer 35EC

Les attitudes irrégulières de même que les lésions cutanées observées chez les géniteurs de *C. gariepinus* sont résumées en fonction des concentrations d'exposition dans le Tableau 3. De façon générale, dès le début de l'essai on observe dans les aquariums une agitation (hyperactivité et/ou agressivité) caractérisée par une

nage rapide et/ou une augmentation de l'activité en surface des poissons exposés à l'Acer 35EC, contrairement aux témoins. Cependant quelques soit la dose d'Acer 35EC testée, on remarque une immobilisation atypique des poissons avec une perte fréquente de l'équilibre pendant les minutes précédant leur mort. Par ailleurs, tous les poissons exposés à l'Acer 35EC ont présentés des lésions cutanées. Dans tous les cas l'intensité des comportements de même que l'ampleur des lésions cutanées observées sont généralement dose-dépendante.

4. Discussion

La présente étude a montré que les œufs de *Clarias gariepinus* sont sensibles aux pesticides chimiques, et particulièrement à la lambda-cyhalothrine, l'une des matières actives de l'Acer 35EC. Cette forte toxicité de la lambda-cyhalothrine chez les œufs pourrait s'expliquer par son facteur de pénétration (FP) très élevé (81,67%) dû au fait qu'il est très lipophile. En effet, au début de l'incubation l'œuf absorbe une grande quantité d'eau par osmose ce qui rend le chorion très distendu dans un premier temps, avant de durcir par la suite sous l'action des enzymes (Kamler, 1992; Gatesoupe, 1994). Avant ce processus de durcissement, le chorion de l'œuf devient perméable à l'eau et aux petites molécules. Dans les groupes témoins, les taux de survie des œufs incubés sont comparables, voire meilleures à ceux généralement rapportés dans la littérature pour *C. gariepinus*. En effet, Haylor et Mollard (1995) de même que Rukera Tabaro et al. (2005) rapportent durant l'incubation (24 à 48 h) des taux de survie des œufs fécondés de *C. gariepinus* de 66 et 67%, respectivement. La membrane chorionique étant de nature phospholipidique elle est perméable aux molécules lipophiles, y compris celles toxiques (Helmstetter et Alden, 1995). Généralement les polluants à FP élevé pénètrent donc plus facilement dans le chorion que ceux à faible FP, provoquant une fois dans l'œuf une précipitation des protéines (OCDE, 1992). La plus grande toxicité du pentachlorophénate de sodium (PF = 70%) comparativement au malathion (FP = 30%) chez les œufs de *C. gariepinus* observée par Nguyen et al. (1999) confirme bien cette tendance. Par ailleurs, il est rapporté que survie des œufs et donc leur éclosion peut être également entravée par le blocage, par les xénobiotiques, notamment ceux lipophiles, des processus biochimiques et comportementaux, y compris la digestion du chorion par les enzymes et les mouvements de l'embryon pour ouvrir le chorion (De Gaspar et al., 1999; Hagenars et al., 2011). C'est ce qui expliquerait également dans notre cas la plus forte toxicité de la lambda-cyhalothrine chez les œufs exposés (CL₅₀-96h = 0,150 ppm),

comparativement au Cocktail (CL50-96h = 13,26 ppm) et à l'Acer 35EC (CL50-96h = 73,54 ppm). Nguyen et al. (1999) ont aussi rapporté que le pentachlorophénol (NaPCP) à des concentrations >1 ppm retarde le développement embryonnaire de *C. gariepinus*. Köprücü et Aydin (2004) ont également remarqué que la deltaméthrine, un pesticide de la même famille que la lambda-cyhalothrine (Pyréthroïdes) était très toxique pour les œufs de la carpe commune (CL50-96h >0,005 ppb) et altérait significativement leur taux d'éclosion. Ha-genars et al. (2011) ont également constaté que l'acide perfluorooctanoïque à des concentrations >1 ppm causait une diminution de l'éclosion des œufs du poisson-zèbre (*Danio rerio*). Aussi, la pénétration des molécules et plus particulièrement de la lambda-cyhalothrine à travers la membrane phospholipidique des œufs pourrait-elle également entraîner une diminution de l'énergie à des niveaux insuffisants pour permettre l'évacuation de la coquille (Varo et al., 2006 ; Agbohessi et al., 2013). La présence d'acétamipride (plus hydrophile) dans le Cocktail et l'Acer 35EC aurait probablement limité leur pénétration dans les œufs justifiant ainsi les faibles toxicités observées (effet antagoniste) comparativement à la lambda-cyhalothrine. La nature du solvant, les adjuvants et additifs contenus dans le produit commercial (Acer 35 EC) aurait probablement aussi eu des effets antagonistes, le rendant ainsi moins toxique aux œufs que le Cocktail fait maison (à base d'acétone comme solvant, sans adjuvants et sans additifs).

Pendant, chez les géniteurs de *C. gariepinus*, l'Acer 35EC s'est révélé très toxique (CL50-96 h = 0,175 ppm) comparativement aux œufs (CL50-48h = 73,54 ppm). Cette plus grande sensibilité des adultes à l'Acer 35EC, comparativement aux œufs, indique que la voie majoritaire d'intoxication de ce produit serait probablement branchiale et/ou orale contrairement aux œufs où la pénétration n'est possible que par la coquille. Aussi, la nécessité de mobiliser d'importante quantité d'énergie métabolique pour faire face au stress engendré par ce polluant chez les reproducteurs (réactions de détoxification, réactions oxydatives, etc.), pourrait altérer l'efficacité des autres fonctions vitales, rendant ainsi les adultes plus sensibles comparativement à ses œufs (Agbohessi, 2014). L'expression de la CL50-96h (0,175 ppm) de l'Acer 35 EC en unité de matières actives donne. 3,5 µg/l de lambda-cyhalothrine et 2,63 µg/l d'acétamipride. Ces valeurs, sont toutes en deçà des concentrations les plus élevées 8,80 µg/l et 7,70 µg/l respectivement obtenues pour ces matières actives lors des monitorings effectués de 2015 à 2017 par le Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie

Aquatique (LaRAEAq) de l'Université de Parakou (UP) à travers le projet AquaTox-Bénin (<http://www.aquatox-benin.be>) dans les retenues d'eau du nord Bénin. Cet état des choses, soutient l'hypothèse que les pesticides utilisés en cotonculture seraient l'une des principales causes des nombreux poissons morts qu'on retrouve fréquemment à la surface de l'eau pendant la saison des pluies dans cette zone.

Par ailleurs, les réactions comportementales des géniteurs observées durant leur exposition à l'Acer 35EC seraient probablement dues aux altérations survenues dans leur mécanisme de régulation nerveuses. En effet, des comportements et altérations similaires ont déjà été signalés chez plusieurs espèces aquatiques y compris *C. gariepinus* exposé à l'endosulfan (pesticide organochloré) par plusieurs auteurs (Ezemonye et Ikpesu, 2011; Yekeen et Fawole, 2011 ; Bhatia et al. 2004 ; Siang et al., 2007 ; Agbohessi et al., 2013, Gouda, 2018a). En effet, ces pesticides (notamment la lambda-cyhalothrine) ou leurs produits de dégradation dans l'organisme, bloqueraient le fonctionnement des canaux sodium indispensables à la transmission de l'influx nerveux par inhibition de l'acétylcholinestérase (Li-Ming, 2008). Ce dernier auteur rapporte que ces xénobiotiques se lient aux protéines qui régulent le canal sodique voltage dépendant, affectant ainsi les fibres nerveuses qui sont stimulées de façon continue créant ainsi chez l'individu, des tremblements, la perte de contrôle musculaire, la paralysie et probablement la mort. Selon, EFSA (2014), l'acétamipride serait un excellent mimétique se liant aux récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (nAChR) imitant ainsi l'action de l'acétylcholine par l'ouverture des canaux ioniques qui permettent l'entrée de Na⁺ et Ca²⁺ dans les cellules. La suractivation de ce récepteur (nAChR) génère généralement un blocage engendrant une paralysie mortelle.

Les lésions cutanées observées dans le cadre de cette étude ont été également rapportées par Agbohessi *et al.* (2015a) chez les juvéniles de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës de Thionex (insecticide coton à base d'endosulfan). Ces ulcérations seraient probablement causées par des réactions inflammatoires au niveau du tégument lors du contact avec l'Acer 35EC (ou ses dérivés), constituant ainsi une porte ouverte aux infections diverses et affaiblissant par conséquent leur défense immunitaire (Ezemonye et Ikpesu, 2011 ; Agbohessi et al. 2013) ce qui pourrait aussi contribuer à la vulnérabilité voire la mortalité des sujets exposés, surtout aux fortes doses.

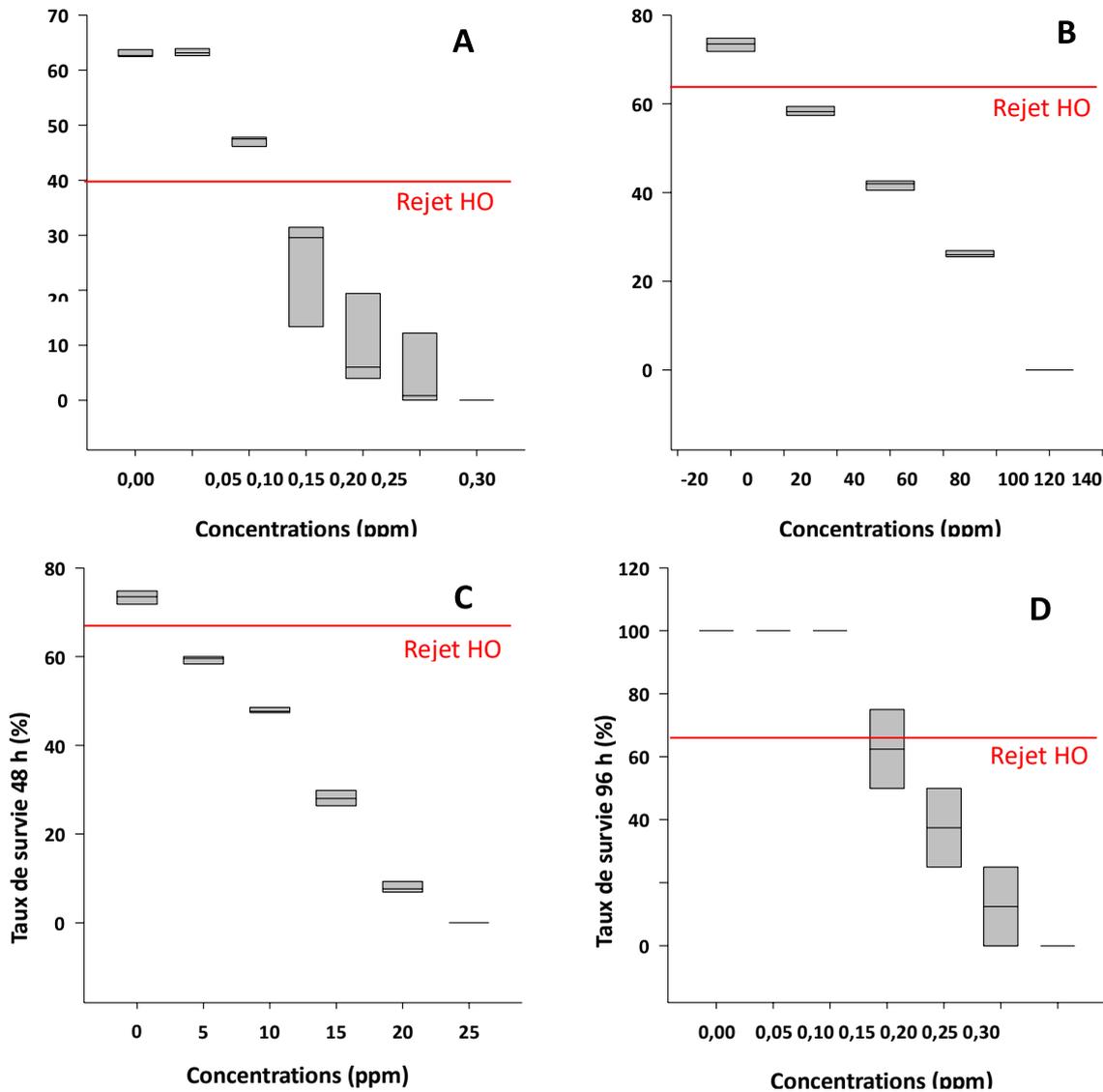


Figure 2 : Taux de survie des œufs (après 48h d'incubation) et géniteurs femelles (après 96 heures) de *Clarias gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës de pesticides (pour les œufs, A: Lambda-cyhalothrine ; B: Acer 35EC et C: Cocktail composé de 20 mg/l de lambda-cyhalothrine + 15 mg/l d'acétamipride dissous dans 20 ml d'acétone ; pour les géniteurs, D: Acer 35 EC).

Graph 2: Survival rate of eggs (after 48 hours post incubation) and broodstock (after 96 hours) of *Clarias gariepinus* exposed under lethal and sublethal concentrations of pesticides (for eggs, A: lambda-cyhalothrin; B: Acer 35EC and C: Mixture of 20 mg/L of lambda-cyhalothrine + 15 mg/L of acetamiprid dissolved in 20 mL of acetone; for broodstock, D: Acer 35EC).

Tableau 2 : Concentrations létales (CL₅₋₅₀), CSEO et CMEO des pesticides testés sur les œufs et géniteurs femelles de *Clarias gariepinus*Table 2: Lethal concentrations (CL₅₋₅₀), NOEC and LOEC of tested pesticides on eggs and female broodstock of *Clarias gariepinus*

Concentrations létales	Œufs (ppm)			Adultes femelles (ppm)
	<i>Lambda-cyhalothrine</i>	<i>Acer 35EC</i>	<i>Cocktail</i>	<i>Acer 35EC</i>
CL5	0,090 (0,059 - 0,111)	44,56 (26,15 - 56,04)	7,71 (5,97 - 9,07)	0,112 (0,063 - 0,138)
CL10	0,100 (0,069 - 0,121)	49,77 (31,54 - 60,79)	8,69 (6,97 - 10,01)	0,124 (0,076 - 0,149)
CL15	0,108 (0,078 - 0,129)	53,63 (35,77 - 64,27)	9,42 (7,74 - 10,71)	0,132 (0,087 - 0,157)
CL20	0,115 (0,086 - 0,135)	56,91 (39,51 - 67,21)	10,05 (8,39 - 11,30)	0,139 (0,096 - 0,163)
CL25	0,121 (0,092 - 0,140)	59,88 (43,00 - 69,88)	10,62 (9,01 - 11,84)	0,146 (0,105 - 0,170)
CL40	0,138 (0,112 - 0,156)	68,08 (53,03 - 77,38)	12,2 (10,74 - 13,33)	0,164 (0,129 - 0,189)
CL50	0,150 (0,126 - 0,167)	73,54 (59,91 - 82,63)	13,26 (11,91 - 14,35)	0,175 (0,144 - 0,203)
CSEO	0,10	<30	<5	0,1
CMEO	0,15	30	5	0,15

CSEO : Concentration Sans Effets Observés ; CMEO : Concentration Minimale avec Effets Observés ; Les valeurs entre parenthèses représentent les limites de confiances 95%.

Tableau 3 : Anomalies observées chez les géniteurs de *Clarias gariepinus* exposés à des doses aiguës d'Acer 35EC durant 96 heuresTable 3: Anomalies observed in *Clarias gariepinus* broodstock exposed to acute doses of Acer 35EC for 96 hours

Doses testées (ppm)	Anomalies					
	<i>Agressivité</i>	<i>Perte d'équilibre</i>	<i>Hyperactivité</i>	<i>Nage rapide</i>	<i>Lésions cutanées</i>	<i>Augmentation de l'activité en surface</i>
0,00	-	-	-	-	-	-
0,05	-	-	+	-	+	-
0,10	-	+	+	+	+	+
0,15	+	+	+	+	+	+
0,20	+	+	+	+	+	+
0,25	+	+	+	+	+	+
0,30	+	+	+	+	+	+

(-) : absence et (+) présence

5. Conclusion

L'évaluation de la toxicité aigüe et subaigüe de l'Acer 35 EC (20 g de lambda-cyhalothrine + 15 g d'acétamipride) chez les adultes femelles et les œufs fécondés du poisson – chat africain, *C. gariepinus*, a permis de mettre en exergue, les effets négatifs de ces polluants sur ces stades vulnérables de ce poisson fortement prisé et représentatif des bassins versants récepteurs. Les adultes (géniteurs) se sont montrés particulièrement sensibles comparativement aux œufs fécondés et ce, même à des concentrations en matières actives inférieures à celles des milieux naturels. Des lésions cutanées de même que des troubles importants de comportements ont été également observés chez les sujets exposés à l'Acer 35EC, indiquant des altérations de certaines fonctions vitales, notamment nerveuses et immunitaires de cette espèce. Il est donc impérieux, de prendre des mesures afin de limiter l'impact de l'usage de ces pesticides dans les bassins culturels sur les écosystèmes aquatiques.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été possible grâce au financement de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur de la Commission de Coopération au Développement (ARES-CDD, Belgique) à travers le projet AquaTox-Bénin (PRD 2013-2018), et du Centre d'Etudes et de Recherches Universitaires de Namur (CERUNA) de l'Université de Namur (Belgique) qui nous a octroyé une allocation universitaire de recherche et de séjour à Namur. Enfin, nous exprimons nos sincères gratitude à tous les étudiants stagiaires du LARA EAq qui ont participé d'une manière ou d'une autre aux différentes manipulations.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Adechian S. A. Baco M. N. Akponikpe I. ImorouToko I. Egah J. & Affoukou K. 2015. Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *Vertigo*, 15 : 1-11. <https://journals.openedition.org/vertigo/16534>.
- Agbohessi P. T. Imorou Toko I. Ouédraogo A. Jau-niaux T. Mandiki S. N. M. & Kestemont P. 2015a. Assessment of the health status of wild fish inhabiting a cotton basin heavily impacted by pesticides in Benin (West Africa). *Science of the Total Environment*, 56 : 567–584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.047>
- Agbohessi P. 2014. Impact des pesticides agricoles sur le développement et la régulation du système reproducteur, le statut hépatique et la croissance des poissons dans le bassin cotonnier béninois. Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en Sciences biologiques à l' Université de Namur, Belgique, 307p.
- Agbohessi P. T. Toko, I. I. Atchou V. Tonato R. Mandiki S. N. M. & Kestemont P. 2015b. Pesticides used in cotton production affect reproductive development, endocrine regulation, liver status and offspring fitness in African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 167 : 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2014.10.002>
- Agbohessi T.P. ImorouToko I. Houndji A. Gillardin V. Mandiki S.N.M. & Kestemont P. 2013. Acute toxicity of agricultural pesticides to embryo-larval and juvenile African Catfish *Clarias gariepinus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64: 692-700.
- Agritox, 2002a. Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques, Acetamipride, <http://www.agritox.anses.fr/php/sa.php?sa=1301> (consulté le [15/02/2018]).
- Agritox, 2002b. Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques Lambda-cyhalothrine <http://www.agritox.anses.fr/php/sa.php?sa=255> (consulté le [15/02/2018]).
- Bhatia N.P. Sanhu G.S. & Johal M.S.2004. Haematological alterations in *Heteropneustes fossilis* upon exposure to endosulfan. *Pollution Research*, 23: 633–636.
- Bonansea R. I. Wunderlin D. A. & Amé M. V. 2016. Behavioral swimming effects and acetylcholinesterase activity changes in *Jenynsia multidentata* exposed to chlorpyrifos and cypermethrin individually and in mixtures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129 : 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.043>
- Bonifacio A. F. Ballesteros M. L. Bonansea R. I. Filippi I. Amé M. V. & Hued A. C. 2017. Environmental relevant concentrations of a chlorpyrifos commercial formulation affect two neotropical fish species, *Cheirodon interruptus* and *Cnesterodon decemmaculatus*. *Chemosphere*, 188 : 486–493. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.156>
- Bylemans D. 2001. The importance of application technique and drift reduction for ecotoxicological risk assessment and risk management in fruit growing. *Parasitica*, 57 : 5-11.
- Carluer N. Gouy V. Gril J.J. 1996. Contamination des eaux par les produits phytosanitaires : apport de la modélisation. *Ingénieries EAT*, 6 :19-30.

- CENAGREF (Centre National de Gestion des Réserves de Faune), 2004. Etude de l'impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides par les populations riveraines sur les écosystèmes (eau de surface, végétaux et faunes) des Aires Protégées (Parcs Nationaux et zones cynégétiques) du Bénin. Rapport Final d'expertise; 168p.
- Chao W. Guanghua L. Jing C. & Perfang W. 2009. Sublethal effects of pesticide mixtures on selected biomarkers of *Carassius auratus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28: 414-419.
- Chikou A. Lalèyè P. Raemakers V. Vandewalle P. & Philippart J.-C. 2008. Etude de l'âge et de la croissance chez *Clarias gariepinus* (Pisces, Clariidae) dans le delta de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2: 157-167.
- Cuesta M. & Angeles B. 2011. Immunotoxicological Effects of Environmental Contaminants in Teleost Fish Reared for Aquaculture: 241-266. In: M. Stoytcheva (eds), *Pesticides in the Modern World-Risks and Benefits*.
- De Gaspar I. Blanquez M.J. Fraile B. Paniagua R. & Arenas M.I. 1999. The hatching gland cells of trout embryos: characterisation of N- and O-linked oligosaccharides. *Journal of Anatomy*, 194: 109-118
- Degla R. 2012. Rentabilité économique et financière des exploitations cotonnières basées sur la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols et des Ravageurs au Nord-Bénin Résumé Economic and financial profitability of cotton production based on the integrated Pest and Soi. *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin*, Numéro spécial : 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2017.03.005>
- De Graaf G. & Janssen H. 1996. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in Sub-Sahara Africa, a hand book. FAO Fisheries technical paper, 71p.
- EFSA (European Food Security Authority) 2014. Reasoned opinion on the modification of the existing MRL for acetamiprid in bananas. *EFSA Journal*, 29p.
- Ezemonye L.I.N. & Ikpesu T.O. 2011. Evaluation of sub-lethal effects of endosulfan on cortisol secretion, glutathione S-transferase and acetylcholinesterase activities in *Clarias gariepinus*. *Food and Chemical Toxicology*, 49: 1898-1903
- Gatesoupe F.J. 1994. Development of fish larvae and rearing conditions in hatcheries: 159-172. In: B. Lehlou and P. Vitiellci (eds), *Coastal and Estuarine Studies*. Aquaculture fundamental and applied research. American Geophysical Union. Washington DC.
- Gillium R. J. 2007. Pesticides in U.S. streams and groundwater. *Environmental Science and technology*, 41: 3407-3413.
- Gouda A.-I. 2018a. Analyse des risques environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires dans les écosystèmes aquatiques du bassin cotonnier (Nord Bénin). Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique à l'Université de Liège, Belgique, 221p. <http://hdl.handle.net/2268/229146>
- Gouda A.I. Mehoba M.H.L. ImorouToko I. Scippo M.-L. Kestemont P. & Schiffers B. 2018b. Comparaison de la dérive pour deux types de pulvérisateurs utilisés en production cotonnière au Bénin. Base : Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 22 : 94-105.
- Hagenaars A. Vergauwen L. De Coen W. & Knapen D. 2011. Structureactivity relationship assessment of four perfluorinated chemicals using a prolonged zebrafish early life stage test. *Chemosphere*, 82: 762-772
- Haylor G.S. & Mollah M.F.A. 1995. Controlled hatchery production of African catfish *Clarias gariepinus*: the influence of temperature on early development. *Aquatic Living Resources*, 8: 431-438
- Helmstetter M.F. & Alden R.W. III. 1995. Passive trans-chorionic transport of toxicants in topically treated Japanese medaka (*Oryzias latipes*) eggs. *Aquatic Toxicology*, 32: 1-13
- Hill R.W. 1985a. Determination of acute toxicity to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) of a 5% EC formulation (Unpublished proprietary report No. BL/B/2783, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hill R.W. 1985b. Determination of acute toxicity to mirror carp (*Cyprinus carpio*) of a 5% EC formulation (Unpublished proprietary report No. BL/B/2784, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hill R.W. 1985c. Determination of acute toxicity to sheepshead minnow (*Cyprino donvariegatus*) (Unpublished proprietary report No. BL/B/2615, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hogendoorn H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V): III bioenergetics relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, 35: 1-17. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90066-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90066-2)
- ICAC (International Cotton Advisory Committee), 2014. Cotton, this Month. 1629 K Street: Washington USA. <https://www.icac.org/tech/ICAC-Researcher-of-the-Year-Award> (consulté le [04/05/2018]).
- ICAC (International Cotton Advisory Committee), 2017. Cotton in the Era of Globalization and Technological Progress. Statement of the 76th Plenary Meeting. http://gca.org.pl/wpcontent/uploads/2017/11/e_Statement_FINAL.pdf (consulté le [04/11/2017]).
- Imorou Toko I. 2007. Amélioration de la production halieutique des trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé par la production de l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et

- Heterobranchus longifilis*. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Presse Universitaire de Namur, ISBN: 978-2-87037-579-2 ; Dépôt légal : D/2007/1881/38 ; 186p.
- Imorou Toko I. Yabi A.J. Assogba M.N. Adam Sanni M. & Elegbe H. 2011. Evaluation des potentialités piscicoles et socioéconomiques des retenues d'eau pastorales dans la commune de Banikoara (Nord-Est du Bénin). Annales de l'Université de Parakou, série Sciences Naturelles Agronomie, 2 : 57-84.
- Kamler E. 1992. Early fish history of fish: 55 – 67. In: Chapman N. & Hall L. (eds), An energetic approach. Ed. Rock. London.
- Köprücü K. & Aydın R. 2004. The toxic effects of pyrethroid deltamethrin on the common carp (*Cyprinus carpio* L.) embryos and larvae. Pesticide Biochemistry and Physiology, 80: 47–53.
- Kumar A. Sharma B. & Pandey R. S. 2011. Assessment of acute toxicity of k-cyhalothrin to a freshwater catfish, *Clarias batrachus*. Environmental Chemistry Letters, 9: 43-46
- Lalèyè P. Chikou A. Philippart J.C. Teugels G.G. & VandeWalle P. 2004. Étude de la diversité ichthyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). Cybium, 28 : 329-339.
- Legendre M. & Teugels G. G. 1991. Développement et tolérance à la température des œufs de *Heterobranchus longifilis*, et comparaison des développements larvaires de *H. longifilis* et de *C. gariepinus* (Teleostei, Clariidae). Aquatic Living Resources, 4: 227-240.
- Li-Ming H. John T. Albert W. & Kean G. 2008. Environmental Chemistry, Ecotoxicity, and Fate of Lambda-cyhalothrin. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 100 ; 71-91.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche), 2014. Liste des produits phytosanitaires disponibles pour la campagne agricole 2013-2014 dans les départements du Borgou-Alibori au Bénin. 14p
- Micha J.-C. 1973. Etude des populations piscicoles de l'Ubangui et tentative de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture. C.T.F.T., Nogent-sur-Marne ; 100p.
- Nguyen L.T.H. Janssen C.R. & Volckaert F.A.M. 1999. Susceptibility of embryonic and larval African catfish (*Clarias gariepinus*) to toxicants. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 62: 230–237.
- OCDE (Organisation for Economic Cooperation and Development) 1992. Guideline for testing of chemicals: fish acute toxicity test. OECD 203, Paris, France.
- Ogueji E.O. & Auta. J. 2007. Investigation of Biochemical Effects of Acute Concentrations of Lambda-Cyhalothrin on African Catfish *Clarias gariepinus*-Teugels. Journal of Fisheries International, 2 : 86–90.
- Ramade F. 1991. Caractères écotoxicologiques et impact environnemental potentiel des principaux insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne : 179- 191. In : Aupelf-Uref, (eds). La lutte anti-acridienne. Ed. John Libbey Eurotext. Montrouge (France).
- Risebrough R.W. Huggett R. J. & Griffin J. J. 1968. Pesticides: transatlantic movements in the north-east trades. In Science, 159 : 1233-1236.
- Rukera Tabaro S. Micha J.-C. & Ducarme C. 2005. Essais d'adaptation de production massive de juvéniles de *Clarias gariepinus* en conditions rurales. Tropicicultura, 23: 231–244.
- Siang H.Y. & Yee L.M. & Seng C.T. 2007. Acute toxicity of organochlorine insecticide endosulfan and its effect on behaviour and some haematological parameters of Asian swamp eel (*Monopterus albus*, Zuiew). Pesticide Biochemistry and Physiology, 89: 46–53.
- Varo I. Amat F. Navarro J.C. Barreda M. Pilarch E. & Sarrero R. 2006. Assessment of the efficacy of *Artemia* sp. (Crustacea) cyst chorion as barrier to chlorpyrifos (organophosphorus pesticide) exposure. Effect on hatching and survival. Science of the Total Environment, 366, 148–153.
- Viveen W. Richter C. Van Oordt P. Janssen J. & Huisman E. 1985. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, P.O.Box 20061, 2500 EB The Hague, The Netherlands; 128 p.
- Yekeen T.A. & Fawole O.O. 2011. Toxic effects of endosulfan on haematological and biochemical indices of *Clarias gariepinus*. African Journal of Biotechnology, 10 : 14090–14096. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Zoumenou B. Aïna M. P. Agbohessi P. Imorou I. & Schippo M.-L. 2015. Effets toxicologiques et méthodes d'analyse de la lambda-cyhalothrine et de l'acétamipride utilisés dans la protection phytosanitaire du cotonnier au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 9 : 2184–2199.
- Zoumenou B. G. Y. M. Aïna M. P. Imorou Toko I. Igout A. Douny C. Brose F. Scippo M. L. 2018. Occurrence of Acetamidrid Residues in Water Reservoirs in the Cotton Basin of Northern Benin. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 102 : 7–12. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2476-4>.