



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)

Koffi Simplicite Yao^{a,b,*}, Boua Celestin Atsé^b, Albert Trokourey^a

^aUniversité Félix Houphouët Boigny, Laboratoire de Constitution et Réaction de la matière, 22 B P 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

^bCentre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire

Résumé:

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la contamination aux pesticides dans l'eau sur les muscles de *Chrysichthys nigrodigitatus* et de *Tilapia zillii* × *Tilapia guineensis* et la santé des populations. L'analyse des échantillons d'eau et de poisson a été faite à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse. Les résultats ont montré que les concentrations annuelles des cinq matières actives le métoxuron, la simazine, l'aldicarbe, le déséthylatrazine et le métolachlore variaient de 0 à 159,46 µg L⁻¹ dans l'eau. Les concentrations de ces polluants chimiques dans les muscles de poissons oscillaient de 0 à 40,66 µg kg⁻¹. Les valeurs de l'indice de risque de contamination (HI) des poissons pour ces pesticides étaient inférieures à 1. En revanche, celles de l'eau, étaient supérieures à 1 pour la simazine 10,22 et 6,50 respectivement pour les secteurs IV et V et le déséthylatrazine 2 pour le secteur V. Le consommateur ne court aucun risque en consommant les poissons desdits secteurs. Cependant, le risque de contamination, par ingestion de l'eau, même filtrée est avéré.

Mots-clés: Contaminations; Pesticides; Eau; Mâchoiron; *Tilapia*; Risque.

Abstract:

The scope of this study is to determine contamination impact of pesticides in water in muscle tissues of *Chrysichthys nigrodigitatus* and *Tilapia zillii* × *Tilapia guineensis* and human health. Fish and water were analyzed by gas chromatography coupled to a spectrometer of mass. The concentrations of metoxuron, simazine, aldicarb, desethylatrazine and metolachlor in water ranged from 0 to 159 µg L⁻¹ and from 0 to 40.66 µg kg⁻¹ in fish muscle tissues. Hazard Index values in fish for pesticides were below 1 (HI <1) in both sectors. In contrast, Hazard Index values in water were above 1 for simazine 10.22 and 6.50, respectively in IV and V sectors and desethylatrazine 2 in V sector. Pesticide residues intake by people consuming the fishes from IV and V sectors of Ebrie lagoon. However, the risk of contamination, by ingestion of water, even filtered, is proven.

Keywords: Contaminations; Pesticides; Water; Catfishes; *Tilapia*; Risk.

*Auteur correspondant:

22 B P 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Adresse e-mail : yaobakpa@yahoo.fr (K.S. Yao).

1. Introduction

L'eau est une ressource indispensable à la vie. En Côte d'Ivoire, les ressources en eau douce deviennent de plus en plus insuffisantes. Cette rareté est confirmée par les coupures d'eau de plus en plus récurrentes sur l'ensemble du territoire. Les principales raisons sont : l'augmentation croissante de la population, l'utilisation abusive et incontrôlée de l'eau (potable) et le coût élevé de l'assainissement de l'eau. Il y a aussi la contamination des eaux souterraines (nappe phréatique) par des produits chimiques (pesticides, engrais azotés, métaux lourds etc.). Pour remédier à cette pénurie d'eau, les pouvoirs publics envisagent l'utilisation des eaux de surface comme source de ravitaillement en eau potable. Cette solution paraît difficile à réaliser. En effet, La lagune Ebrié, à titre d'exemple, est fortement influencée par les activités anthropiques des populations riveraines. Celles-ci utilisent abusivement les pesticides dans les activités de pêche et agricoles [1, 2]. Les effets des pesticides sur la santé sont de plus en plus relevés par la communauté internationale. En effet, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) indique 250 000 décès chaque année dans le monde par empoisonnement dû aux pesticides [3, 4]. En dehors de leur toxicité directe sur l'Homme et les animaux, les pesticides présentent la particularité de s'accumuler dans les écosystèmes surtout aquatiques. Les effets néfastes de la pollution lagunaire ont été observés sur tous les êtres vivants [5, 6].

De 1999 à 2013, l'on a enregistré d'importantes mortalités de poissons dans la zone lagunaire de Jacquerville à Dabou incluant les secteurs IV et V [7]. A ce jour, il n'existe pas de données officielles sur la teneur des pesticides dans la matrice eau des secteurs IV et V de la Lagune Ebrié. Dans ce contexte, une évaluation de l'impact de la contamination aux pesticides dans les eaux sur les poissons et la santé des populations dans lesdits secteurs, s'est avérée nécessaire. Les espèces de poisson *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Tilapia zillii* × *Tilapia guineensis* ont été choisies pour cette étude. Ce travail de recherche a pour objectif principal d'évaluer l'impact de la contamination aux pesticides dans l'eau sur les muscles de *Chrysichthys nigrodigitatus* et de *Tilapia zillii* × *Tilapia guineensis* et la santé des populations des secteurs IV et V de la lagune Ebrié.

L'intérêt de ce travail réside dans le fait qu'il fournit les informations sur le niveau réel de la contamination aux pesticides des eaux de notre zone d'étude. Ce qui pourrait aider les autorités publiques dans la prise de décision. Cette décision concerne l'usage ou non, en l'état actuel, des eaux de surface de nos secteurs d'étude comme source éventuelle de ravitaillement en eau potable.

2. Matériels et méthodes

2.1 Matériel

2.1.1 Zone d'étude

La lagune Ebrié s'étend sur 130 km le long du littoral. Sa largeur ne dépasse pas 7 km. Sa profondeur moyenne est de 4,8 m avec quelques mares profondes de plus de 20 m dans la zone urbaine d'Abidjan [8]. Notre étude s'étend aux secteurs IV et V (05 ° 16'N-04 ° 15 - 4 ° 30 W). Les secteurs IV et V couvrent les départements de Dabou et Jacqueline. Les activités agricoles et de pêche y sont pratiquées. Onze sites d'échantillonnage des eaux ont été

sélectionnés. Ceux-ci sont répartis le long de ces secteurs en fonction des taux de mortalités de poissons (Figure 1). Les stations de Songon, N'Djem, Papoga, Taboth et Layo ont été choisies pour le secteur IV. Celles de Bapo, Koko, Ahua, Abraco, Mopoyem et Gboubo ont été sélectionnées pour le secteur V. Pour la collecte de poissons, cinq stations ont été choisies. Il s'agit de Layo, Songon, Ndjem et Taboth pour le secteur IV et Ahua pour le secteur V (Figure 1).

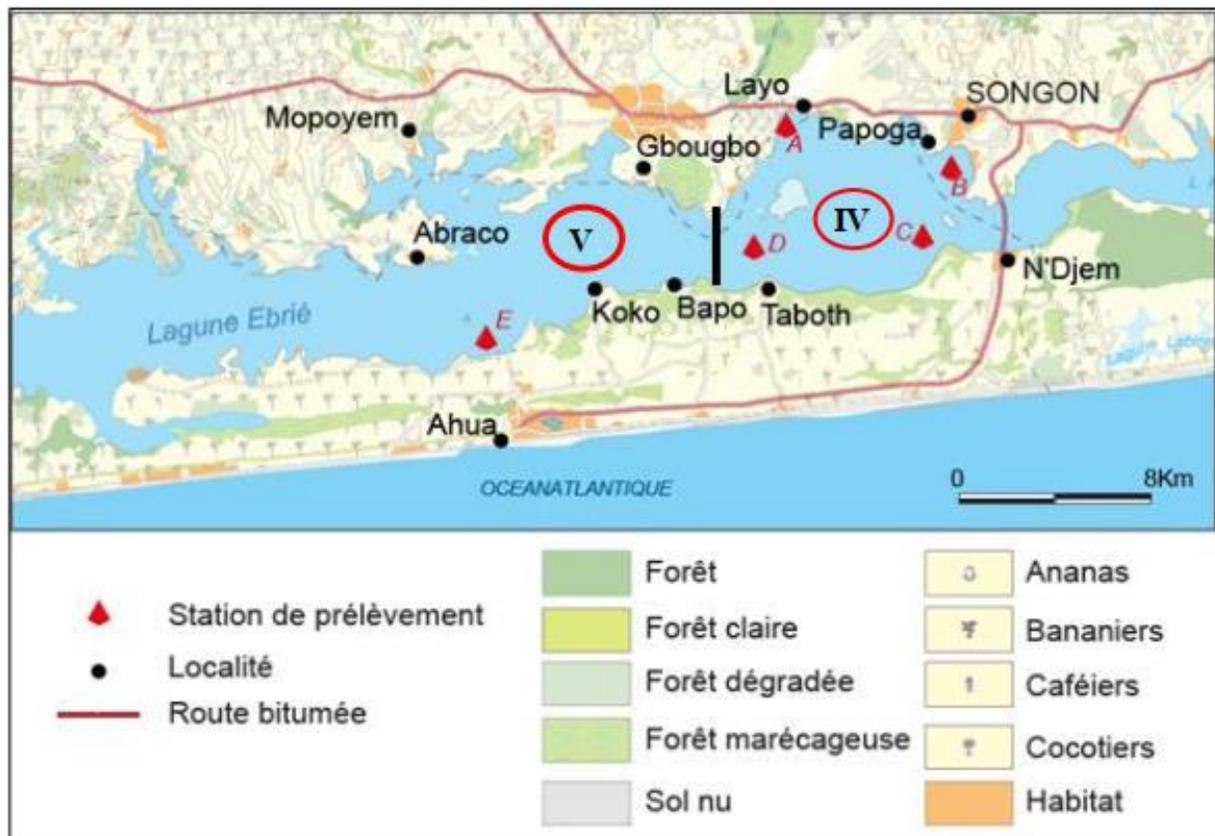


Fig. 1. Emplacement des stations d'échantillonnage dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié : **secteur IV** : A = Layo, B = Songon, C= N'Djem, D = Taboth ; **Secteur V** : E= Ahua.

2.1.2 Campagne d'échantillonnage

Des échantillons d'eau (n = 132) ont été prélevés en surface et en profondeur grâce à la bouteille de Niskin mensuellement de février 2014 à janvier 2015. Ceux-ci ont été recueillis dans des flacons d'eau et acidifiés par 2 ml d'acide sulfurique. Tous les échantillons ont été conservés au frais (4 °C) dans un refroidisseur à l'abri de la lumière pour analyse au laboratoire. Dans la même période, 120 échantillons de *Chrysichthys nigrodigitatus* et de *Tilapia zilli* × *Tilapia guineensis* en majorité des adultes, ont été mensuellement collectés et disséqués. Les muscles des deux espèces de poissons ont été prélevés et congelés pour les analyses au laboratoire. La détermination des espèces a été faite grâce aux clés d'identification de Paugy et al. [9, 10].

2.2. Méthodes

2.2.1 Analyse chimique

Les pesticides dans l'eau ont été extraits à l'aide de la technique d'extraction liquide-liquide (LLE) [11]. La purification a été réalisée sur colonne de florisil.

500 mL d'eau contaminée sont prélevés dans une ampoule à décanter. On y ajoute 100 mL de dichlorométhane et 10 mL de NaCl pour faciliter la séparation des deux phases. On agite vigoureusement jusqu'à émulsion et on sépare les deux phases. La phase organique est recueillie dans un ballon de 500 mL. L'opération est renouvelée trois (3) fois de suite. Finalement,

l'on réduit à 30 mL au rotavapor [11]. La purification s'est faite sur colonne de florisil. La colonne est remplie de 20 g de florisil désactivé et de laine de verre et recouverte de 2 à 3 cm de sulfate de sodium anhydre. Avant son utilisation, elle est lavée avec 140 mL d'hexane. 5 ml de l'extrait sont transférés sur la colonne ; l'on fait passer 150 mL de solution qui est un mélange dichlorométhane/hexane (30/120, v/v). L'on fait goutter 2 à 5 mL min⁻¹ et l'éluat est recueilli dans un ballon. L'extrait est concentré dans un évaporateur rotatif (rotavapor) entre 40 et 70°C. L'extrait concentré est transféré pour analyse au CPG/SM.

L'extraction des pesticides dans les muscles de poissons a été réalisée par la technique d'extraction accélérée par solvant (ASE) selon le protocole décrit par Polard [12]. Les muscles de poissons ont été préalablement lyophilisés (élimination d'eau). Ceux-ci par la suite ont été broyés en mélange avec de l'hydromatrix dans un rapport de masse échantillon/hydromatrix 1/3. La cellule est ensuite chargée de 10g du mélange d'échantillon et hydromatrix broyés, puis complétée par de l'hydromatrix. Deux filtres blancs en cellulose sont placés au sommet de la charge de la cellule. L'extraction à l'ASE s'est faite au moyen d'un mélange de solvants acétonitrile (ACN) / dichlorométhane (DCM) (75/25 ; v/v). Le mélange est injecté dans la cellule maintenue pendant 5 minutes à 50°C et à une pression de 100 bars. A l'issue des 5 min, 60% du volume de solvant est renouvelé.

Cette séquence est reproduite 3 fois à cette température, puis 3 fois à 100°C [13]. Le solvant chassé de la cellule est chargé des analytes extraits. Les volumes issus des extractions aux deux températures sont séparés. Le dichlorométhane a été éliminé en filtrant chaque volume respectif sur 50 g de sulfate de sodium anhydre déposé dans un filtre sur entonnoir. On évapore à sec les filtrats à l'aide d'un évaporateur pour réduire les volumes. Après l'élimination du dichlorométhane, la purification des filtrats contenant de l'acétonitrile s'est faite par chromatographie d'adsorption sur des cartouches Oasis HLB Plus. Les extraits purifiés, sont ensuite évaporés, puis analysés par CPG/SM.

La quantification des pesticides dans la matrice eau-poisson a été faite par un Chromatographe en Phase Gazeuse (CPG) couplé à un spectromètre de masse (SM). Le Chromatographe en Phase Gazeuse (CPG) de marque Technologie Agilent avec Colonne capillaire HP-5MS (30 m x 0,25 µm x 0,25 mm) contenait l'hélium comme gaz éluant de pureté > 99.99% à un débit de 1 mL min⁻¹ à 25 psi (1,732.10⁵ Pa). Le volume d'injection était de 1µL. Le spectromètre de masse de température de transfert de 280°C avec une température de source d'ionisation de 230°C. Les conditions d'analyse ont suivi la méthode décrite par Murcia *et al.* [11]. Le gaz hélium était injecté en mode splitless (sans division). La température du four était initialement de 60 °C. Cette température a été maintenue constante

pendant 1 min. Celle-ci a ensuite été relevée jusqu'à 160°C à une vitesse de 30°C/min. Par pas de 2°C/min, la température du four a été augmentée jusqu'à 190°C. Puis, celle-ci a été programmée à la valeur de 240°C à une vitesse de 30°C/min. Pour finir, la température du four a été relevée jusqu'à 300°C à raison de 3°C/min. La limite de détection des pesticides était de 6 ng L⁻¹ et celle de quantification était de 10 ng L⁻¹.

2.2.2 Méthodes de calcul

2.2.2.1 Concentrations

Les concentrations de pesticides contenues dans l'échantillon sont calculées en comparant les surfaces des pics des produits de l'échantillon aux surfaces obtenues avec des solutions étalons de concentrations connues. Ci-dessous la formule de calcul de concentration des échantillons de poisson en µg kg⁻¹ :

$$C = \frac{C_i.V_i.V_t.F.Se}{V_e.S_i.m} \quad (1)$$

Où :

C_i = concentration de la gamme étalon (µg mL⁻¹),

V_i = volume injecté de la gamme étalon (mL),

S_e = surface du pic de l'extrait de l'échantillon (cm²),

V_t = volume total de l'extrait de l'échantillon (mL),

V_e = volume injecté de l'extrait de l'échantillon (mL),

S_i = surface du pic de la gamme étalon (cm²),

m = masse de l'échantillon du poisson (kg),

F = facteur de dilution.

2.2.2.2 Valeurs guides

Pour les pesticides ayant des effets toxiques à seuil, l'OMS a déterminé les valeurs guides à partir de la VTR ou la DJA (dose journalière admissible) à l'aide de la formule suivante [14] :

$$V_G = \frac{VTR \times p.c \times P}{C} \quad (2)$$

Où :

$p.c$ est le poids corporel. Les valeurs de références retenues par l'OMS sont : 60 kg pour un adulte [15].

C est la consommation journalière d'eau de boisson. Les valeurs de références retenues par l'OMS sont : 2 litres pour un adulte [15].

P est la proportion de la VTR (DJA) attribuée à l'eau de boisson, car celle-ci n'est pas habituellement la seule source d'exposition pour l'Homme. Pour la grande majorité des pesticides une part de 10% de la VTR (DJA) est attribuée aux apports hydriques par l'OMS.

2.2.2.3 Facteur de bioaccumulation

Le Facteur de bioaccumulation (FBA) s'exprime comme suit :

$$FBA = \frac{C_s}{C_{eau}} \quad (3)$$

C_s : concentration de la substance chimique dans l'organisme vivant en $\mu\text{g kg}^{-1}$,

C_{eau} : concentration dans l'eau en $\mu\text{g L}^{-1}$.

Le FBA s'exprime en L kg^{-1} .

2.2.2.4 Injection Journalière Estimée

L'ingestion journalière estimée de résidu de pesticide EDI en $\mu\text{g kg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ a été calculée pour chacun des pesticides de la manière suivante [16].

$$EDI = \frac{C \times Q}{P} \quad (4)$$

- Pour le muscle de poisson

C = Concentration de pesticide dans le poisson ingéré ($\mu\text{g kg}^{-1}$).

Q = Quantité de poisson ingérée $43,53 \cdot 10^{-3} \text{ kg (personne)}^{-1} (\text{jour})^{-1}$.

P = Poids moyen d'un adulte est de 60 kg.

- Pour l'eau ingérée provenant de la lagune Ebrié

C = Concentration moyenne de pesticide dans l'eau ingérée ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Q = Quantité d'eau de consommation quotidienne 2 L jour^{-1} .

P = Poids moyen d'un adulte est de 60 kg.

2.2.2.5 Indice de risque pour la santé

L'indice de risque pour la santé (Hazard Index) HI se calcule selon l'équation suivante :

$$HI = \frac{EDI}{DJA} \quad (5)$$

-Si $HI < 1$; l'aliment concerné est considéré comme acceptable.

-Si $HI > 1$; l'aliment concerné est considéré comme un risque pour le consommateur [16, 17].

3. Résultats

Les concentrations annuelles et saisonnières des matières actives de pesticides dans l'eau et dans les muscles chez les deux espèces avec les écarts types pour les deux secteurs sont présentées dans les Tableaux 1, 3 et 4. Les Normes de Qualité Environnementale (NQE), les valeurs guides (V_G) et les valeurs maximales V_{MAX} de l'OMS sont présentées dans le Tableau 2. Les matières actives quantifiées sont le métoxuron, l'aldicarbe, la simazine, le déséthylatrazine et le métolachlore.

Pour la matrice eau, les concentrations moyennes annuelles oscillent entre 0,53 et 154 $\mu\text{g L}^{-1}$ pour le secteur IV et entre 1,05 et 101,50 $\mu\text{g L}^{-1}$ pour le secteur V. La simazine a été quantifiée avec la valeur moyenne la plus élevée dans les deux secteurs au cours de cette campagne. Le déséthylatrazine avec 0,53 $\mu\text{g L}^{-1}$ et le métolachlore avec 1,05 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivement dans les secteurs IV et V sont les matières actives les plus faiblement quantifiées. Toutes les matières actives ont été trouvées avec des teneurs plus élevées en saison des pluies et des crues qu'en saison sèche dans les deux secteurs à l'exception du métolachlore en saison sèche dans le secteur IV. L'analyse statique ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les saisons pour l'aldicarbe et le métolachlore dans les deux secteurs.

Les valeurs annuelles calculées pour ces matières actives dans les muscles de *Chrysichthys nigrodigitatus* sont comprises entre 0 et 12,41

$\mu\text{g kg}^{-1}$ et entre 0 et 40,66 $\mu\text{g kg}^{-1}$ respectivement dans les secteurs IV et V (Tableau 3). La matière active dont la valeur moyenne annuelle est la plus élevée est le déséthylatrazine avec 12,41 $\mu\text{g kg}^{-1}$ et 40,66 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectivement, pour les secteurs IV et V. Le métoxuron et le métolachlore n'ont pas été détectés dans les secteurs IV et V. Seuls l'aldicarbe, la simazine et la déséthylatrazine ont été trouvés à toutes les saisons dans le secteur IV (Tableau 3). L'accumulation des pesticides dans les muscles chez *Chrysichthys nigrodigitatus* est plus importante en saison sèche qu'en saisons des pluies et des crues, à l'exception du déséthylatrazine dans le secteur V. En dehors de la simazine et du déséthylatrazine, aucun pesticide n'a été identifié pendant les saisons des pluies et des crues dans le secteur V (Tableau 4). Le métoxuron et le métolachlore n'ont pas été détectés dans les échantillons de *Chrysichthys nigrodigitatus* à toutes les saisons dans les deux zones. L'analyse statistique ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les saisons pour la déséthylatrazine dans le secteur IV.

Les valeurs des concentrations annuelles de résidus de pesticides étaient relativement faibles pour *Tilapia hybride*. Elles vont de 0,16 à 4,83 $\mu\text{g kg}^{-1}$ et de 0 à 7,66 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dans les secteurs IV et V respectivement pour le *Tilapia hybride*. Le déséthylatrazine (4,83 $\mu\text{g kg}^{-1}$) du secteur IV et la simazine (7,66 $\mu\text{g kg}^{-1}$) du secteur V étaient les teneurs moyennes annuelles les plus élevées.

Dans le secteur IV, seule la simazine et le déséthylatrazine ont été quantifiés pour toutes les saisons (Tableau 4). En outre, dans le secteur V, tous les pesticides étaient présents pendant la saison sèche sauf le métolachlore. Le test

ANOVA a indiqué une différence significative ($p < 0,05$) entre les saisons pour la simazine et la déséthylatrazine dans le secteur IV pour le *Tilapia* hybride.

Tableau 1

Concentrations annuelles et saisonnières des pesticides (moyenne \pm écart-type) de l'eau ($\mu\text{g L}^{-1}$) identifiés dans la zone d'étude de février 2014 à janvier 2015.

	Annuelle	Saisons		
		Saison sèche	Saison des pluies	Saison des crues
Metoxuron	2,33 \pm 6,8	0,40 \pm 0,5	0,40 \pm 0,5	6,20 \pm 11,6
Aldicarbe	8,40 \pm 16,4	1,00 \pm 1,4 ^a	10,60 \pm 22,1 ^b	13,60 \pm 18,6 ^c
IV Simazine	159,46 \pm 405,4	6,60 \pm 10,1	249,00 \pm 552,3	222,80 \pm 475,3
Déséthylatrazine	0,53 \pm 0,7	0,4 \pm 0,5	0,60 \pm 0,9	0,60 \pm 0,9
Métolachlore	4,06 \pm 13,6	10,60 \pm 23,7 ^c	1,00 \pm 2,2 ^b	0,60 \pm 1,3 ^a
Metoxuron	3,00 \pm 4,1	0,66 \pm 1,0	4,16 \pm 4,8	4,16 \pm 4,8
Aldicarbe	28,38 \pm 67,5	6,33 \pm 8,4 ^a	63,33 \pm 112,1 ^c	15,50 \pm 24,7 ^b
V Simazine	101,50 \pm 242,3	7,00 \pm 7,1	176,00 \pm 352,8	121,50 \pm 239,2
Déséthylatrazine	29,94 \pm 39,7	4,50 \pm 4,3 ^a	38,50 \pm 37,2 ^b	46,83 \pm 52,3 ^c
Métolachlore	1,05 \pm 2,9	0,16 \pm 0,4	1,50 \pm 3,7	1,50 \pm 3,7

Les valeurs avec des lettres a, b et c en exposant présentent une différence entre les saisons.

Tableau 2

Valeurs des NQE [18, 19] V_G et V_{Max} de l'OMS pour l'eau en $\mu\text{g L}^{-1}$ [15].

	NQE	V_G	V_{Max}
Métolachlore	7,8	10	10
Aldicarbe	1	9	10
Simazine	4	2	2
Métoxuron	0	0	0
Déséthylatrazine	2	1,5	2

Tableau 3

Concentrations moyennes et annuelles des pesticides dans les muscles de mâchoiron.

	Annuelle	Saisons			
		Saison sèche	Saison des pluies	Saison des crues	
IV	Métoxuron	0	0	0	0
	Aldicarbe	0,50 ± 0,7	0,75 ± 0,9	0,50 ± 0,6	0,25 ± 0,5
	Simazine	1,33 ± 0,9	1,25 ± 1,2	1,25 ± 0,9	1,50 ± 0,6
	Déséthylatrazine	12,41 ± 26,6	1,00 ± 1,4 ^a	12,00 ± 13,8 ^b	24,25 ± 45,2 ^c
	Métolachlore	0	0	0	0
V	Métoxuron	1,00 ± 1,00	2,00	1,00	0
	Aldicarbe	1,33 ± 1,5	3,00	1,00	0
	Simazine	7,66 ± 12,4	22,00	0	1,00
	Déséthylatrazine	5,66 ± 8,1	15,00	0	2,00
	Métolachlore	0	0	0	0

Tableau 4Concentrations moyennes et annuelles des pesticides dans les muscles de *Tilapia* hybride.

	Annuelle	Saisons			
		Saison sèche	Saison des pluies	Saison des crues	
IV	Métoxuron	0,16 ± 0,4	0,25 ± 0,5	0	0,25 ± 0,5
	Aldicarbe	1,66 ± 3,1	4,00 ± 4,7	1,00 ± 1,4	0
	Simazine	2,08 ± 1,5	3,50 ± 1,7 ^{ab}	1,25 ± 0,5 ^a	1,50 ± 1,0 ^b
	Déséthylatrazine	4,83 ± 9,5	1,00 ± 1,1 ^a	11,00 ± 15,1 ^c	2,50 ± 5,0 ^b
	Métolachlore	0,08 ± 0,3	0,25 ± 0,5	0	0
V	Métoxuron	1,00	2,00	1,00	0
	Aldicarbe	1,33 ± 1,5	3,00	1,00	0
	Simazine	7,66 ± 12,4	22,00	0	1,00
	Déséthylatrazine	5,66 ± 8,1	15,00	0	2,00
	Métolachlore	0	0	0	0

Les facteurs de bioaccumulation, les valeurs des apports quotidiens en résidu de pesticides par aliments et les indices de risque pour la santé sont consignés dans les Tableaux 5 et 6 respectivement.

Les facteurs de bioaccumulation les plus élevés ont été obtenus pour le déséthylatrazine chez *Chrysichthys nigrodigitatus* dans les deux secteurs 23,41 et 1,358 respectivement dans les secteurs IV et V (Tableau 5). La simazine a un facteur de bioaccumulation relativement faible chez les deux espèces.

Les valeurs d'EDI dans les muscles de *Chrysichthys nigrodigitatus* calculées variaient de 0 à $9,00 \cdot 10^{-3} \mu\text{g kg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ dans le secteur IV et de 0 à $2,95 \cdot 10^{-2} \mu\text{g kg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ dans le secteur V. Celles du *Tilapia* hybride se trouvaient entre $3,5 \cdot 10^{-3}$ et $5,56 \cdot 10^{-3} \mu\text{g kg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$. Chez le mâchoiron, les valeurs d'EDI les plus élevées ont été obtenues pour le déséthylatrazine dans les deux secteurs. Pour le *Tilapia* hybride, les valeurs EDI les plus élevées ont été trouvées pour le déséthylatrazine dans le secteur IV et pour la simazine dans le secteur V. Les valeurs d'EDI trouvées chez *Chrysichthys nigrodigitatus*

sont inférieures à celles trouvées chez le *Tilapia* hybride, à l'exception du déséthylatrazine dans les deux secteurs (Tableau 6).

Les résultats ont montré que les valeurs de HI des résidus de pesticides étaient comprises entre 0 et $1,8 \cdot 10^{-2}$ et $1,09 \cdot 10^{-7}$ et $7 \cdot 10^{-3}$ pour le secteur IV respectivement chez *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Tilapia* hybride. Dans le secteur V, elles oscillaient entre 0 et $5,90 \cdot 10^{-2}$ (*Chrysichthys nigrodigitatus*) et entre 0 et $8,22 \cdot 10^{-4}$ (*Tilapia* hybride).

Les valeurs d'EDI calculées pour l'eau étaient comprises entre $1,77 \cdot 10^{-2}$ et $5,31 \mu\text{g kg jour}^{-1}$ et entre $3,50 \cdot 10^{-2}$ et $3,38 \mu\text{g kg jour}^{-1}$ dans les secteurs IV et V respectivement (Tableau 6). Pour l'eau, les valeurs les plus grandes ont été obtenues pour la simazine 5,315 (secteur IV) et $3,38 \mu\text{g kg jour}^{-1}$ secteur (V).

Toutes les valeurs trouvées pour les HI dans les muscles de poisson sont très inférieures à 1 (Tableau 6). En revanche, la valeur HI de la simazine (10,22) dans l'eau du secteur IV est très supérieure à 1. Dans le secteur V, les valeurs des HI de la simazine (6,50) et du déséthylatrazine (2) sont supérieures à 1 (Tableau 6).

Tableau 5

Facteurs de bioaccumulation (poids frais) dans les muscles de poisson des secteurs IV et V.

	Pesticides	Mâchoiron	<i>Tilapia</i>
IV	Métoxuron	0	0,068
	Aldicarbe	0,06	0,197
	Simazine	0,008	0,013
	Déséthylatrazine	23,41	9,11
	Métolachlore	0	0,019
V	Métoxuron	0	0,033
	Aldicarbe	0,07	0,047
	Simazine	0,049	0,075
	Déséthylatrazine	1,358	0,189
	Métolachlore	0	0

Tableau 6Apport quotidien en résidu de pesticides par l'ensemble des aliments (EDI) ($\mu\text{g kg jour}^{-1}$) comparé au DJA de l'OMS et de l'index de risque (HI).

	EDI	HI	EDI	HI	EDI	HI	DJA	
	mâchoiron		<i>Tilapia</i> h.		eau			
IV	Métox	0	0	$1,16 \times 10^{-4}$	$2,32 \times 10^{-5}$	$7,77 \times 10^{-2}$	$1,55 \times 10^{-4}$	5
	Aldic	$3,63 \times 10^{-4}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-3}$	3×10^{-4}	$2,80 \times 10^{-1}$	$9,33 \times 10^{-2}$	3
	Crim	$6,02 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-7}$	$5,44 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-7}$	$8,62 \times 10^{-1}$	$1,72 \times 10^{-4}$	5×10^3
	Simaz	$9,65 \times 10^{-4}$	$1,85 \times 10^{-4}$	$1,51 \times 10^{-3}$	$2,90 \times 10^{-3}$	5,31	10,22	0,52
	Dea	$9,00 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-3}$	7×10^{-3}	$1,77 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-2}$	0,5
	Métol	0	0	$5,80 \times 10^{-5}$	$1,66 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-1}$	$3,86 \times 10^{-2}$	3,5
V	Métox	0	0	$7,25 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$	0,10	2×10^{-2}	5
	Aldic	$1,45 \times 10^{-3}$	$4,83 \times 10^{-4}$	$9,65 \times 10^{-4}$	$3,21 \times 10^{-4}$	$9,46 \times 10^{-1}$	$3,15 \times 10^{-1}$	3
	Crim	$4,79 \times 10^{-4}$	$9,58 \times 10^{-8}$	$9,65 \times 10^{-4}$	$3,21 \times 10^{-7}$	$3,24 \times 10^{-1}$	$6,48 \times 10^{-5}$	5×10^3
	Simaz	$3,63 \times 10^{-3}$	$6,98 \times 10^{-3}$	$5,56 \times 10^{-3}$	$1,07 \times 10^{-4}$	3,38	6,50	0,52
	Dea	$2,95 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-2}$	$4,11 \times 10^{-3}$	$8,22 \times 10^{-4}$	$9,98 \times 10^{-1}$	2	0,5
	Métol	0	0	0	0	$3,50 \times 10^{-2}$	10^{-2}	3,5

Métox = Métoxuron, Aldic = Aldicarbe, Simaz = Simazine, Dea = Déséthylatrazine et Métol = Métolachlore

4. Discussion

Les concentrations moyennes annuelles de la simazine était de $159,46 \mu\text{g L}^{-1}$ dans le secteur IV et celles du déséthylatrazine $29,94 \mu\text{g L}^{-1}$ et celles de l'aldicarbe $28,38 \mu\text{g L}^{-1}$ dans le secteur V. En outre, les résultats ont montré que les concentrations moyennes saisonnières des matières actives retrouvées dans l'eau étaient plus importantes en saisons des pluies et des crues qu'en saison sèche. Ces résultats pourraient s'expliquer par d'intenses activités agricoles. En effet, Keddal et N'Dri [2] ont révélé que l'utilisation abusive de pesticides dans l'agriculture les conduit vers le milieu aquatique par ruissellement et lessivage des terres agricoles. Idem pour Loewy *et al.* [20] qui, dans une étude menée en Argentine, ont révélé que la de pulvérisation lors de l'application de pesticides était une voie importante pour la migration des résidus de pesticides dans les eaux de surface. Les valeurs des écarts-types supérieures aux valeurs moyennes indiquent la variabilité des concentrations des matières actives dans l'espace-eau. Au cours de cette étude, les valeurs moyennes des pesticides quantifiés dans l'eau, sont supérieures aux normes de qualité de l'eau potable (NQeau) de l'OMS fixées à $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ pour l'ensemble des matières actives et à $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ pour les matières actives individuelles à l'exception de l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlor-époxyde fixées à $0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ [21]. Ce résultat implique que les eaux dans les secteurs IV et V de la

lagune Ebrié ne peuvent pas être utilisées directement pour la consommation humaine. En outre, certaines substances chimiques telles que la simazine pour le secteur IV et l'aldicarbe, la simazine et le déséthylatrazine pour le secteur V ont des teneurs dans l'eau supérieures aux valeurs-guides (V_G) et valeurs sanitaires maximales (V_{MAX}) de l'OMS [15]. Ce qui suggère, que l'ingestion des eaux des secteurs IV et V par les populations pourraient causer des problèmes sanitaires.

Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) sont utilisées pour l'évaluation des états chimique et écologique. Dans cette étude, les concentrations de la simazine, l'aldicarbe et le déséthylatrazine (secteur V) sont très supérieures aux NQE. Par exemple, la concentration de la simazine ($159,46 \mu\text{g L}^{-1}$) est supérieure à environ 40 fois la NQE de la simazine fixée à $4 \mu\text{g L}^{-1}$ [18]. Celle du déséthylatrazine ($29,94 \mu\text{g L}^{-1}$) est supérieure à 29 fois la NQE de l'aldicarbe fixée à $1 \mu\text{g L}^{-1}$ [19]. Cela signifie que les eaux de la lagune Ebrié dans les secteurs IV et V ont un mauvais état chimique et écologique.

Chez *Chrysichthys nigrodigitatus* l'accumulation est plus forte en saison sèche qu'en saison des pluies et des crues. Ce résultat pourrait être attribué dans un premier temps à son régime alimentaire. En effet, en saison sèche, la disponibilité de la nourriture est faible qu'en saison des pluies d'après Konan *et al.* [22]. Dans ces conditions, les mâchoirons vivant sur le fond trouvent leur nourriture dans les sédiments contaminés par les pesticides [23, 24].

Dans un second temps, ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les saisons des pluies et des crues correspondent à la période de nidification et de reproduction chez *Chrysichthys nigrodigitatus*. En effet, selon Hem et al. [25], à cette période, les couples (femelle et mâle) de *Chrysichthys nigrodigitatus* préparent un nid ou ils cherchent une cavité naturelle (rochers, troncs et racines d'arbre etc.) pour la ponte. Durant cette période, selon les mêmes auteurs les géniteurs restent à jeun ce qui pourrait diminuer la teneur de résidus de pesticides dans leurs organes.

Chez *Tilapia* hybride, la simazine et le déséthylatrazine étaient les seules matières actives présentes en saison des pluies et des crues dans le secteur IV. Cette situation s'expliquerait par le fait qu'en saisons des pluies et des crues la nourriture abonde [22]. Ainsi, les *cichlidae* vont se nourrir aisément des aliments de la colonne d'eau contaminée essentiellement par la simazine et le déséthylatrazine dans le secteur IV.

Les facteurs de bioaccumulation (FBA) sont plus élevés dans le secteur IV que dans le secteur V aussi bien chez le mâchoiron que chez le *Tilapia* hybride dans l'ensemble. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que le secteur IV comprend plus de stations que le secteur V. Les FBA les plus élevés se retrouvent chez le mâchoiron. Ce qui signifierait que la bioaccumulation des matières actives est plus importante dans le muscle du mâchoiron que celui du *Tilapia* hybride. Ce résultat pourrait

s'expliquer par le fait que le muscle du mâchoiron est plus gras que celui du *Tilapia* hybride [26]. Les FBA des pesticides dans les muscles chez *C. nigrodigitatus* calculés dans le secteur V sont nettement inférieurs à ceux trouvés par Igbima et al. [27] au Nigéria pour des organochlorés chez *C. nigrodigitatus*. Chez *Tilapia zilli* × *Tilapia guineensis*, les FBA des pesticides calculés dans les muscles sont très inférieurs aux FBA des organochlorés chez *Tilapia zilli* dans une étude menée par Lubna et Ramzy en Egypte [28]. Tous ces résultats suggèrent que les niveaux d'accumulation des pesticides chez nos deux espèces de poisson sont relativement faibles.

L'homme se trouve à la fin de la chaîne trophique. Son exposition aux pesticides par ingestion passe par la connaissance du risque potentiel sur la santé. Les résultats des EDI puis des HI (HI <1) calculés chez *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Tilapia zilli* × *Tilapia guineensis*, ont montré que les matières actives accumulées dans le muscle de ces deux espèces ne présentent aucun danger pour le consommateur. Ces résultats (pour les EDI) confirment que les niveaux d'accumulation des pesticides dans les organes des deux espèces de poisson sont relativement faibles dans les deux secteurs. En revanche, les résultats des EDI puis des HI (HI > 1) calculés dans l'eau ont montré qu'il y a risque potentiel de contamination. En effet, si les populations utilisent l'eau, même filtrée, des secteurs IV et V de la lagune Ebrié pour la boisson, les risques potentiels pour la

santé sont avérés pour la simazine dans le secteur IV. Idem, pour la simazine et le déséthylatrazine dans le secteur V. Ces résultats traduisent bien le niveau de contamination élevé des matières actives, la simazine et le déséthylatrazine dans la matrice eau. En conséquence, la consommation de l'eau dans les deux secteurs pourrait provoquer une intoxication chronique. Celle-ci pourrait se manifester par des affections liées au cœur et au foie et par des perturbations neuro endocriniennes [29-31].

5. Conclusion

Les niveaux de contamination des matières actives identifiées dans l'eau, dans les secteurs IV et V sont très élevés par rapport aux normes internationales. Les eaux de notre zone d'étude ont un mauvais état chimique et écologique. En plus, certaines substances chimiques ont des teneurs dans l'eau supérieures aux valeurs-guides (V_G) et valeurs sanitaires maximales (V_{MAX}) de l'OMS. Ces eaux sont en conséquence déconseillées pour la consommation humaine. Les niveaux d'accumulation des poissons sont relativement faibles. Il n'y a pas de risque d'intoxication en consommant les poissons des secteurs IV et V de la lagune Ebrié. Par contre, les risques d'intoxication des populations par ingestion de l'eau même filtrée sont avérés. Les populations pourraient développer certaines maladies. Il résulte de ce fait un problème de développement durable. Parce que la santé de l'Homme et les

ressources naturelles (eau, poisson ...) sont menacés.

Dès lors nous recommandons aux pouvoirs publics de :

- ✓ sensibiliser les populations de la zone d'étude à ne pas consommer l'eau de la lagune Ebrié même filtrée ;
- ✓ assurer un monitoring (surveillance) de l'usage des pesticides en agriculture comme dans les activités de pêches dans nos zones d'études ;
- ✓ ne pas utiliser les eaux de notre secteur d'études dans son état actuel comme source d'approvisionnement d'eau douce.

Références bibliographiques

- [1] M. Marchand, J.-L. Martin, Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments, *Océanogr. Trop.* 20 (1985) 25-39.
- [2] H. Keddal, Y.J. N'dri, Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, *Revue HTE* 138 (2007) 15.
- [3] O.B. Adedeji, R. Okocha, Overview of pesticide toxicity, *Fish Advances in Environmental Biology*, 6(8) (2012) 2344-2351.
- [4] K.S. Yao, K.V. Kouame, K.M. Yao, B.C. Atsé, A. Trokourey, A.S. Tidou, Contamination, distribution et évaluation des risques écologiques par les pesticides dans les sédiments de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire, Afrique *SCIENCE* 14(6) (2018) 400-412.
- [5] J. Grall, M. Clemarec, Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest, *Estuarine*

Coastal et shelf science, 44 supplément A (1997) 43 -53.

[6] P. Gnohoussou, Influence de la pollution organique sur les invertébrés du lac Nakoué, Mémoire de diplôme d'Agronomie Approfondie. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT) France (2002).

[7] L. Boni, Diversité et structure des peuplements des poissons de deux secteurs lagunaires : cas des secteurs IV et V de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny (2017).

[8] J.R. Durand, D. Guiral, Hydro climat et hydrochimie. Dans "Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, Les milieux lagunaires" Tome II (1994).

[9] D. Paugy, C. Lévêque, G.G. Teugels, Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, Tome I. Éditions IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), (2003a).

[10] D. Paugy, C. Lévêque, et G. G. Teugels, Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, Tome I. Éditions IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), (2003b).

[11] F. Murcia, K. Menach, P. Pardon, Approche multi résidus pour le suivi des pesticides dans différents compartiments (eau, sédiment, huîtres) de l'environnement aquatique du bassin d'Arcachon Laboratoire. Dans "IFREMER DEL/AR" Quai du commandant Silhouette, 33120 Arcachon, France Université de Bordeaux 1, (2010).

[12] T. Polard, Caractérisation des effets génotoxiques sur poissons de produits phytosanitaires en période de crue, Thèse de Doctorat université de Toulouse (2010).
<https://thesesups.ups-tlse.fr/1710/1/2010TOU30338> pdf.
Consulté le 02 septembre 2017.

[13] J. Gan, S.K. Papiernik, W.C. Koskinen, Evaluation of accelerated solvent extraction (ASE) for analysis of pesticide residues in soil,

Environmental Science and Technology 33 (1999) 3245-3253.

[14] Annexe 2 Afssa – Saisine n° 2004-SA-0069. Fiche 17 : Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité des pesticides dans les eaux destinées à la consommation humaine (2005).
http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/IESinterne08_questions_3.pdf.
Consulté le 19 septembre 2017.

[15] OMS, Tetrachloroethylene. In "Guidelines for Drinking-water Quality ", Third edition, volume 1, recommandations (2004).
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines3/en/.
Consulté le 26 septembre 2017.

[16] O. Akoto, S. Gavor, M. K. Appah, J. Apau, Estimation of human health risk associated with the consumption of pesticide-contaminated vegetables from Kumasi, Ghana, Environ. Monit. Assess 187(5) (2015) 244.

[17] G. Darko, O. Akoto, Dietary intake of organophosphorus pesticide residues through in vegetables from Kumasi, Ghana, Food Chem. Toxicol. 46(12) (2008) 3703-3706.

[18] Directive 2013/39/UE du parlement européen et du conseil du 12 août 2013. Les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau, Journal officiel de l'Union Européenne du 24 août 2013. Page 12.

[19] Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Summary Table, Updated (2007).
<https://www.ccme.ca/files/ceqg/en/backup/222-080516095450.pdf>.
Consulté le 10 mai 2017.

[20] R.M. Loewy, L B. Monza, V. E. Kirs, M.C. Savini, Pesticide distribution in an agricultural environment in Argentina, Journal of Environmental Science and Health, Part B 46, (2011) 662-670.

[21] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition (4th

edition) 564p. 2011<http://extoxnet.orst.edu/pips/simazine.htm>.

Consulté le 2 février 2017.

[22] Y.A. Konan, S. Ouattara, T. Koné, Régime alimentaire de *Thysochromis ansorgii* (Cichlidae) dans la forêt des marais Tanoé-Ehy (Côte d'Ivoire), *Cybium* 38(4) (2014) 261-266.

[23] M.C. Blé, Y.L. Alla, F. Kervarec, Régimes alimentaires de trois principales espèces piscicoles élevées en côte d'ivoire, Centre de Recherches Océanologiques, Université Montpellier 2, Fiche Technique, Document Vulgarisé (2008) 10-14.

[24] P. Laleye, E. Baras, J.-C. Philipart, Variations du régime alimentaire de *Chrysichthys nigrodigitatus* et *C. auratus* (Claroteidae) dans les lagunes du Sud-Bénin, *Aquatic Living Resources* 8 (1995) 356-372.

[25] S. Hem, M. Legendre, L. Trébaol, Aquaculture lagunaire. Dans « Environnement et ressources aquatiques en Côte d'Ivoire. Les milieux lagunes » Tome 2. J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral, S.G.F. Zabi (Eds), Edition ORSTOM, Paris (1994) 455-505.

[26] A. H. Hampoh, A. G. S. Ehouman, K. Brou, K.S. Traoré, M. Kone, Niveau de contamination en Polychlorobiphényles (PCB) dans les poissons frais Pêches dans la lagune de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal* 10(27) (2014) 116-131.

[27] O. A. Ibigbami, A.F. Aiyesanmi, E.I. Adeyeye, A.O. Adebayo, R.D. Aladesanwa, Distribution, Bioconcentration and Potential Health Risks Associated with Organochlorine Pesticides Contamination of *Chrysichthys nigrodigitatus* and *Oreochromis niloticus* from Ero River in Nigeria, *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 5(4) (2015) 12.

[28] A.I. Lubna, E.M. Ramzy, Water Quality and its impact on tilapia Zilli (Case Study) Qarun Lake-Egypt, *International Water Technology Journal* 3(4) (2013) 170-191.

[29] E. Boileau, O. Samuel, P. Gosselin, Ecologie et impacts sanitaires des pesticides en réponse à l'augmentation des ravageurs amenés par les changements climatiques. Dans "portraits perspectifs et recommandations", Université de Sherbrooke (2015).

<https://www.usherbrooke.ca/environnement/sites/Boileau>.

Consulté le 20 mai 2017.

[30] I. Giroux, L. Pelletier, MDDEP, Présence de pesticides dans l'eau du Québec : bilan dans quatre cours d'eau de zones en culture de maïs et de soya en 2008, 2009 et 2010. Dans "Centre de recherche en agriculture et agroalimentaire du Québec". Agri-Réseau, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Pesticides (2012).

[31] SAgE pesticides, Effets toxiques des matières actives. Dans "Centre de référence en agronomie et agroalimentaire du Québec, Pesticides"(2014).

<http://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche>.

Consulté le 11 mai 2017.