

## **Niveau de contamination aux pesticides et risques écotoxicologiques dans deux écosystèmes aquatiques au Niger : Lac Guidimouni et mare de Tabalak**

**Abdoulatif YOUCHAOU TAWAYE<sup>1\*</sup>, Bassirou ALHOU<sup>1</sup> et Ali ELH SALEY ADAMOU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université Abdoumoumouni de Niamey, Ecole Normale Supérieure, Département de Science de la Vie et de la Terre, BP 10963, Niamey, Niger*

<sup>2</sup> *Service Formation et Recherche Laboratoire National de Santé Publique et d'Expertise, BP 11585, Niamey, Niger*

---

\* Correspondance, courriel : [youchalat@gmail.com](mailto:youchalat@gmail.com)

### **Résumé**

L'objectif de cette étude est de connaître le niveau de contamination aux résidus de pesticides et les risques écotoxicologiques liés, dans deux écosystèmes aquatiques : la mare de Tabalak et le lac Guidimouni. Pour ce faire un inventaire des produits phytosanitaires utilisés par les producteurs maraichers autour des points d'eau a été fait, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés en saison sèche et pluvieuse pour analyse. Les concentrations observées en résidus ont été comparées aux normes de qualité environnementale (NQE). Des quotients de risque (QR) ont été aussi calculés pour l'estimation des risques liés à ces teneurs en résidus de pesticides. Les résultats montrent que 68,76 % des pesticides utilisés à Guidimouni et 88,62 % à Tabalak ne sont pas homologués. Ils ont aussi révélé la contamination, des compartiments sédimentaires, par des résidus de pesticides. Les matières actives détectées pendant la saison sèche sont : Aldrine, Dieldrine, DDT et en saison pluvieuse : Aldrine, DDT, Diméthoate, Profenophos, Fenthion, Dicofol et Lindane. Les teneurs en saison pluvieuse sont plus élevées (0,01 à 0,18 mg/Kg à Tabalak et 0,08 à 0,11 mg/Kg à Guidimouni contre 0,08 à 708 mg/Kg et 0,02 à 582 mg/Kg respectivement). La comparaison aux normes et le calcul des quotients de risque (QR) sur toutes les saisons indiquent un mauvais état écologique des sédiments de ces eaux et les risques négatifs sur les organismes aquatiques sont élevés.

**Mots-clés :** *pesticides, contamination, eaux, sédiments, risques écotoxicologiques.*

### **Abstract**

**Level of pesticides contamination and ecotoxicological risks in in two aquatic ecosystems in Niger : Guidimouni lake and Tabalak pond**

The objective of this study is to know the level of contamination of pesticide residues and the related ecotoxicological risks in two aquatic ecosystems : Tabalak pond and Lake Guidimouni. In order to do this, an inventory of the phytosanitary products used by market gardeners around the water points was made, and water and sediment samples were taken during the dry and rainy seasons for analysis. The concentrations observed in residues were compared to environmental quality standards (EQS). Risk quotients (RQs) were also calculated to estimate the risks associated with these pesticide residue levels. The results show that 68.76 % of the pesticides used in Guidimouni and 88.62 % in Tabalak are not registered. They also revealed the

contamination of sedimentary compartments by pesticide residues. The active ingredients detected during the dry season are : Aldrin, Dieldrin, DDT and in the rainy season : Aldrin, DDT, Dimethoate, Profenophos, Fenthion, Dicofol and Lindane. Levels in the rainy season are higher (0.01 to 0.18 mg/Kg in Tabalak and 0.08 to 0.11 mg/Kg in Guidimouni against 0.08 to 708 mg/Kg and 0.02 to 582 mg/Kg respectively). Comparison with standards and the calculation of risk quotients (RQs) over all seasons indicate a poor ecological status of the sediments in these waters and the negative risks to aquatic organisms are high.

**Keywords :** *pesticides, contamination, water, sediments, ecotoxicological risks.*

## 1. Introduction

Au Niger, le maraichage constitue un palliatif à plusieurs fléaux minant le développement [1]. En effet, il permet de niveler le déficit laissé par les cultures pluviales du fait de la variabilité de la pluviométrie et de la dégradation des terres pour une population sans cesse croissante. Il procure des éléments minéraux et des vitamines qui font défaut au régime alimentaire, offre des emplois et des revenus pendant la saison sèche et limite par conséquent l'exode rural des populations [1]. En effet, après la récolte des cultures pluviales beaucoup s'adonnent au maraichage dans des espaces aménagés, les vallées fossiles, les cuvettes, autour des eaux de surfaces. Il est produit une très grande variété de produits agricoles, pour l'autoconsommation et la vente [2]. Contrairement aux cultures pluviales, les cultures maraichères sont moins sensibles à la fluctuation de la pluviométrie. C'est aussi une agriculture intensive où les producteurs cherchent toujours à maximiser la production. Le système de production est de type conventionnel, faisant appels aux produits agrochimiques (pesticides, engrais minéraux). L'utilisation des pesticides est quasi systématique, pour les producteurs qui ont les moyens [3]. Conscients des avantages que procurent ces produits de synthèse, ces producteurs en quête toujours d'un profit maximum, en font une utilisation abusive, sans aucun respect des normes et recommandations qui régissent l'utilisation de ces derniers [4 - 6]. La majorité des pesticides en vente et utilisés par les producteurs sont principalement importé du Ghana et du Nigéria et ne sont pas homologués. Le choix des pesticides n'est toujours pas conforme aux ennemis des cultures à combattre.

Et d'autre part les doses à appliquer ne sont pas toujours respectées. La fréquence d'application est parfois très élevée [3]. Dans les bassins versant de la mare de Tabalak et du lac Guidimouni, la plupart des riverains sont des maraichers. Ces derniers utilisent une panoplie de pesticides chimiques de synthèse pour protéger leur culture. L'utilisation des pesticides n'est pas sans inconvénients, car tout en détruisant les ennemis des cultures, ces produits présentent un danger potentiel et permanent sur les animaux, les végétaux, les personnes et leur environnement, à cause de leur toxicité et leur caractère polluant et rémanent [7]. Plus de 98 % des insecticides pulvérisés et 95 % d'herbicides atteignent d'autres destinations que leurs cibles et dans l'environnement, ils peuvent subir des transformations aboutissant à la formation d'une entité encore plus dangereuse que celle de départ [8]. L'usage des pesticides dans les bassins versants est une source potentielle de pollution et de nuisances sanitaires pour les populations, les animaux et la biodiversité en aval [9]. La pression parasitaire sur les cultures, couplée à l'analphabétisme et au manque de control sur la régularité des produits phytosanitaires, conduisent à un usage pas des plus respectueux de l'environnement autour des deux plans d'eau [10, 11]. Les eaux de la mare de Tabalak et du lac Guidimouni sont sujettes à la contamination aux résidus de pesticides et aux effets délétère sur les organismes aquatiques vivant dans ces écosystèmes. En effet, les eaux continentales sont le réceptacle privilégié des déversements de ces produits agricoles, par le drainage des sols, les écoulements souterrains en plus d'autres voies qui sont : la dérivation, les retombés atmosphériques et l'érosion éolien [12, 13]. Ces eaux sont les gîtes d'une faune ichthyologique,

constituée de plusieurs espèces de poisson (plus de cinq espèces ont été inventoriées sur chaque site), mais aussi d'une population de crocodiliens à Guidimouni. Les communautés et les collectivités tirent des profits de ces écosystèmes notamment à travers la pêche. Plusieurs études ont signalé la contamination des eaux de surface périphériques aux zones agricoles, par les résidus de pesticides [14 - 19]. La présence des pesticides peut provoquer des perturbations dans le fonctionnement des écosystèmes. Les effets néfastes des pesticides sur les milieux aquatiques peuvent se traduire par des altérations de la qualité sanitaire, les indices de croissances et biométriques affectés [20, 21], la baisse de la reproduction, la mortalité, la perte de la biodiversité [22, 23]. La connaissance des concentrations résiduelles des pesticides dans l'environnement est importante pour comprendre les menaces qui pèsent sur les écosystèmes. La revue de la littérature montre que très peu d'études ont été consacrées à la contamination par les résidus de pesticides issus des activités agricoles en général et en particulier celle des écosystèmes aquatiques au Niger. L'objectif est de faire un état des lieux sur la contamination aux résidus de pesticide de ces points d'eau et les risques écotoxicologiques qui y sont liés. L'intérêt cette étude est de fournir des données factuelles pour une gestion durable de ces écosystèmes.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Sites d'études

La mare de Tabalak (15,0625000 de latitude Nord et 5,6341670 de longitude Est) et le lac de Guidimouni (13,6862450 de latitude Nord et 9,5086950 de longitude Est) sont les sites d'étude. La **Figure 1** donne une transcription graphique de leur position géographique. La mare de Tabalak (site Ramsar) est à cheval entre les communes de Tabalak (Département d'Abalak), de Kalfou (département de Tahoua) et de Keita (département de Keita). La mare de Tabalak est formée par trois (3) poches : Silalé, Falé et Kéhéhé. La superficie de ce plan d'eau varie en fonction des saisons entre 50 et 1000 ha avec une profondeur atteignant deux (2) mètres. C'est une mare d'eau douce à régime permanent [24, 25]. Le lac de Guidimouni constitue une grande étendue d'eau de surface dans la commune de Guidimouni, localisée dans le département de Damagaram Takaya. Elle couvre une superficie de 660 km<sup>2</sup>, et est limité au Nord par les communes de Damagaram Takaya et Mazamni, au Sud par celles de Bouné et Gouchi (départements de Gouré et Magaria), à l'Est par la commune rurale de Guidigur (Gouré) et à l'Ouest par la commune rurale de Zermou [26]. Le lac de Guidimouni couvre une superficie de 60 ha avec une profondeur pouvant atteindre trois (3) mètres.

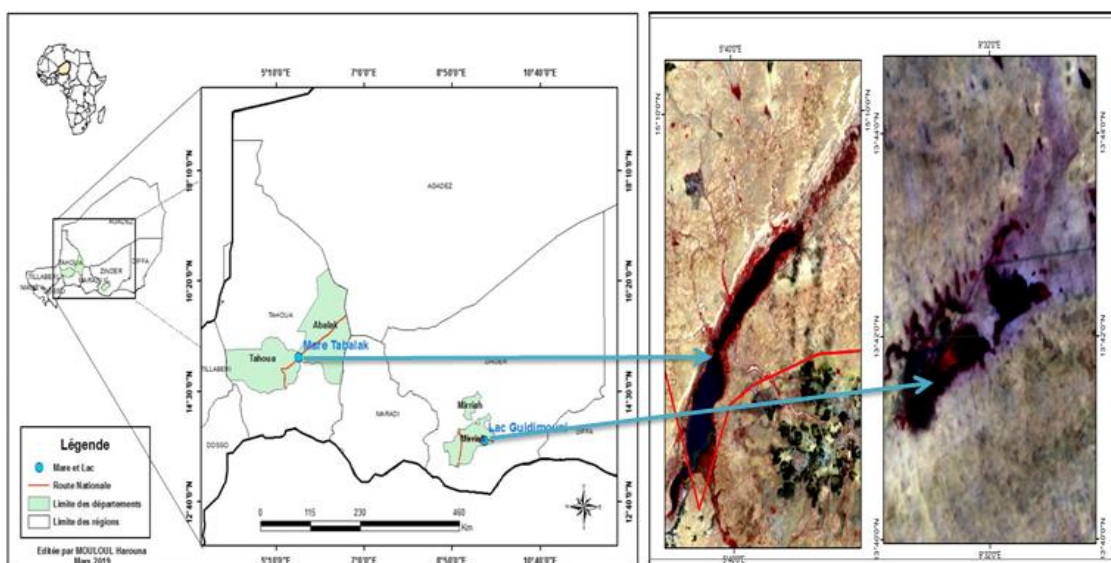


Figure 1 : Localisation des sites d'études

Le climat dans les deux zones est de type sahélo-saharien, marqué par deux principales saisons : une longue saison sèche qui dure huit (8) mois (d'Octobre à Mai) et une courte saison pluvieuse de quatre mois (Juin à septembre). La pluviométrie dans ces zones est caractérisée par une irrégularité et une mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les moyennes annuelles varient entre 300 et 600 mm à Guidimouni et 200 à 500 mm à Tabalak. La température peut descendre entre 8 et 10°C en saison froide et remontée au-delà de 40°C en saison chaude dans les deux communes [24, 27].

## **2-2. Inventaires des produits phytosanitaires**

L'inventaire a été réalisé auprès des fournisseurs (grossistes, détaillants, ambulants et les services de l'agriculture). Une collecte des emballages vides a été effectuée pour identifier les produits phytosanitaires utilisés sur les sites d'étude.

## **2-3. Échantillonnage**

Des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés, à trois endroits différents notamment sur les deux rives et au milieu de chaque niveau considéré pour le point d'eau. Les niveaux sont pour la mare de Tabalak, les trois poches qui la constituaient (dans l'ordre, d'ouest vers l'est : Kéhéhé, Falé et Silalé) et pour le lac Guidimouni, une subdivision en trois (3) parties allant d'Est en Ouest du fait de la faiblesse d'activités agricoles à l'ouest du lac (amont, milieu et aval), constituant les trois (3) niveaux pour chaque point d'eau. Deux (2) prélèvements ont été effectués, un en saison sèche (Mai) et un autre en saison pluvieuse (Août). Trois (3) prélèvements ont été effectués et mélangés, aux mêmes points pour toutes les matrices, pour en faire respectivement des composites de 2,5 L d'eau et 500 g de sol. Les échantillons d'eau ont été prélevés en immergeant la bouteille de prélèvement dans les vingt-cinq (25) premiers centimètres. Quant aux sédiments, ils ont été recueillis sur les cinq (5) premiers centimètres du benthos. Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des bouteilles en verre ambré de 2,5 L, préalablement lavées à l'eau distillée et au détergeant puis rincées à l'acétone. Quant aux sédiments, ils ont été conditionnés dans du papier aluminium doublé d'un sac plastique. Tous les échantillons ont été codés et conservés dans une glacière contenant des blocs de glace. Transportés au laboratoire, les échantillons ont été maintenus à - 18°C jusqu'à l'analyse.

## **2-4. Analyse de résidus de pesticides**

Des analyses multi-résidus de pesticides ont été réalisées pour déterminer les teneurs dans les matrices eau et sédiments. Dix-sept (17) matières actives ont été recherchées. Il s'agit de : Aldrine, DDT, Cyperméthrine, Chlorpryphos éthyle, Dieldrine, Diméthoate, Dicofol, Fenthion, Pirimiphosmethyl, Profenophos, Deltaméthrine, Pendimethalin, Malathion, Acetamipride, Fenthion, Permethrine et Lindane. Les techniques d'analyse utilisées étaient celles du Centre Régional de Recherche en Ecotoxicologie et de Sécurité Environnementale (CERES Locustox). Elles combinaient l'extraction par la méthode ISO10382 pour les sédiments et l'extraction par NF EN ISO 6468 pour les eaux. La lecture était faite par GC/μECD et la quantification par utilisation de solutions étalons.

## **2-5. Évaluation de la contamination et des risques**

En absence de normes sur les pesticides au Niger, les teneurs en résidus de pesticides des différentes matrices ont été comparés aux normes européennes pour la protection de la vie aquatique. Des valeurs de NQE (normes de qualité environnementales) et des valeurs seuils ont été utilisées. Ces données ont été prises sur

le portail de L'INERIS [28]. Le **Tableau 1** présente ces normes ainsi que les propriétés des pesticides détectés. Les teneurs des pesticides détectés ont été divisées par les valeurs de la norme pour obtenir des nombres de dépassement. Le quotient de risque (QR), calculé selon **l'Équation (1)** a été utilisé pour déterminer le degré d'exposition des organismes aquatiques [29].

$$QR = \frac{CEE}{PNEC} \tag{1}$$

La PNEC est obtenue en multipliant la  $Cl_{50}$  ou la  $CE_{50}$  (concentration létale ou effective pour 50 % des animaux soumis) par le facteur d'évaluation  $AF = 1000$ , qui tient compte de l'incertitude à partir des tests de toxicité (**Équation 2**).

$$PNEC = \frac{CL(E)50}{AF} \tag{2}$$

Les teneurs en pesticides des sédiments ont été converties en teneurs dans l'eau interstitielle. L'approche de l'équilibre de partage a été utilisée [22] (**Équation 3 et 4**).

$$CEE = \frac{Cs}{Kd} \tag{3}$$

où,  $C_s$  désigne la concentration en résidus de pesticide dans les sédiments,  $K_d$  le coefficient d'adsorption, il est obtenu par **l'Équation (4)**.

$$Kd = Koc * Foc \tag{4}$$

$K_{oc}$  représente le coefficient de partage eau carbone organique et  $f_{oc}$  la fraction organique totale du sédiment [12].

Trois niveaux taxonomiques ont été pris en compte pour cette évaluation : les algues, les crustacées et les poissons conformément à la directive européenne pour les pesticides. Ces trois niveaux sont estimés suffisamment représentatifs d'un écosystème [22]. En plus deux espèces communes de poisson à ces points d'eau ont également été choisis (*Oreochromis niloticus*, *Clarias gariepinus*), l'une pélagique et l'autre benthique. Les données d'écotoxicité de l'ensemble de ces organismes ont été prises dans la base de données PPDB (pesticides proprieties database) [30] de l'université de Hertfordshire, d'autres générées à partir de « ECOSAR 2.0 » [31], mais aussi à travers la littérature [31 - 36]. Ces dernières sont consignées dans le **Tableau 2**.

**Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques et normes de qualité environnementales (valeurs sédimentaires) des pesticides détectés**

Pesticides	Solubilité (mg/L)	Constante de Henry Pa (m <sup>3</sup> /mol)	Koc	Log P	DT50 (Jours)	Normes qualité Sédiments (µg/Kg)
Aldrine	0,027	17,2	17500	6,5	365	10
Dieldrine	0,14	6,50.10 <sup>-2</sup>	12000	3,7	1400	3
DDT	0,006	0,843	151000	6,91	6200	33,4
Dicofol	0,8	2,45.10 <sup>-2</sup>	6064	4,3	80	
Dimethoate	25900	1,42.10 <sup>-2</sup>	-	0,75	2,5	0,08
Fenthion	4,2	2,4.10 <sup>-2</sup>	1500	4,84	22	
Profenofos	28	1,65.10 <sup>-3</sup>	2016	1,7	7	
Lindane	8,2	1,48.10 <sup>-6</sup>	1270	3,5	980	0,24

**Tableau 2 : données de toxicité des pesticides sur les algues, les crustacés et les poissons**

Pesticides	Algues	Crustacées	Poissons		
	Algues vertes (CE50-96 heures)	<i>Daphnia magna</i> (CI50-48 heures)	<i>Oreochromis niloticus</i> (CI50-96 heures)	<i>Clarias gariepinus</i> (CI50-96 heures)	Poisson d'eau douce (CI50- 96 heures)
Aldrine	0,21 mg/L	0,028 mg/L			0,0034 mg/L
Dieldrine	0,059 mg/L	0,25 mg/L	6 µg/L	11,7 µg/L	0,5 mg/L
DDT	0,180 mg/L	0,005 mg/L			0,014 mg/L
Dicofol	0,293 mg/L	0,14 mg/L			0,116 mg/L
Dimethoate	48,8 mg/L	2 mg/L	45 mg/L	39,40 mg/l	641 mg/L
Fenthion	0,918 mg/L	0,057 mg/L		39,97 mg/l	0,189 mg/L
Profenofos	0,474 mg/L	0,5 mg/L	0,87 mg/L		1,13 mg/L
Lindane	2,76 mg/L	1,6 mg/L	0,1159 ppm		2,24 mg/L

### 3. Résultats

#### 3-1. Produits phytosanitaires inventoriés

L'inventaire réalisé auprès des fournisseurs des intrants et la collecte des emballages dans les zones d'étude, montre 16 spécialités commerciales à Guidimouni et 43 à Tabalok. Elles contenaient respectivement 10 et 21 matières actives. Les matières actives des pesticides retrouvés à Tabalok appartiennent à neuf (9) familles chimiques et celles de Guidimouni à cinq (5) (**Tableau 3**).

**Tableau 3 : Les matières actives des produits phytosanitaires trouvés**

Site	Matières actives
Guidimouni	(pyr) Lambda-cyhalothrine (I), (op) Dimethoate (I,A), (pyr) Cypermethrine (I), (nct) Acetamipride (I), (pyr) Deltamethrine (I), (ogp) Dichlorvos (I,A), (dna) Isopropilamine (H), (op) Glyphosate (H), (avt) Abamectine (I,A,N), (pyr) Permethrine (I)
Tabalok	(op) Glyphosate (H), (dpe) Oxyfluorfen, (op) DDVP (I,A), (dna) Pendimethaline (H), (pyr) Lambda-cyhalothrine (I), (op) Profenofos (I,A), (pyr) Cypermethrine (I), (pyr) Permethrine (I), (nct) Imidaclopride (I), (cbm) Thirame (F), (tzi) Hexaconazole (F), (cam) Butachlore (H), (pyr) Beta-cypermethrine (I), (avt) emamectine benzoate (I), (da) Aluminiumphosphide (R), (nct) Acetamipride (I) (pyr) Beta-cyfluthrine (I), (dna) Isopropilamine (H), (op) Chlorpyrifos (I), (cbm) Carbofurane (I,N,A), (avt) Abamectine (I,N,A)

(pyr : pyréthoïdes, op : organophosphorés, dna : dinitroalanime, avt : avermectine, dpe : diphenylether, nct: neonicotinoïde, cbm : carbamate, tzi : triazole, cam : chloroacetamide, A : acaricide, F : fongicide, H : herbicides, I : insecticide, N : nématicide, R : rodenticide.)

Les pyréthroïdes et les organochlorés constituent les principales familles chimiques des pesticides retrouvés au niveau des deux communes, les autres se retrouvent en nombre moins important. Ces pesticides sont utilisés comme insecticides, herbicides, acaricides, nématicides, et rodenticides. En se basant sur la liste des produits autorisés par le CSP (Comité Sahélien de Pesticides), il ressort que 11 des 16 spécialités inventoriées à Guidimouni soit 68,76 % ne sont pas homologuées ; ce taux est de 88,62 % à Tabalok. Parmi les produits phytosanitaires inventoriés, on dénombre 4 produits à Guidimouni (Crush, Primeforce, DD-Force, et le dernier n'est pas nommé sur l'emballage) et 5 à Tabalok (Viper, Prime-Force, DD-Force, Excutor et Goodbye) qui contiennent la dichlorvos. Un produit contenant du corbofurane (J-furon) a aussi été retrouvé à Tabalok.

### 3-2. Contamination des matrices environnementales

Les résultats issus des mesures analytiques ont montré la contamination de ces points d'eau en résidus de pesticides. Le **Tableau 4** présente les teneurs en résidus de pesticides trouvées dans les eaux et les sédiments de la mare de Tabalak et du lac Guidimouni.

**Tableau 4 : Résultats d'analyse des résidus de pesticides dans les échantillons d'eau et de sédiments prélevés à Tabalak et Guidimouni**

Tabalak							Guidimouni						Limite de quantification	
Pesticides	TS1	TS2	TS3	TE1	TE2	TE3	GS1	GS2	GS3	GE1	GE2	GE3	LOQ S (mg/Kg)	LOQ E (µg/l)
<b>Saison sèche</b>														
Aldrine	0,087	0,18	0,048	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	0,088	0,087	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
DDT	<0,01	<0,01	0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Dieldrine	0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
<b>Saison pluvieuse</b>														
Aldrine	0,08	0,3	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,1	0,04	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
DDT	1	2	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	3	0,1	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Diméthoate	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	0,02	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Dicofol	708	808	455	<0,1	<0,1	<0,1	582	5	8	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Fenthion	<0,01	<0,01	6	<0,1	<0,1	<0,1	7	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Profenophos	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	0,6	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1
Lindane	0,3	0,5	0,09	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,01	0,03	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,1

*TS : échantillon de sédiment Tabalak, GS : échantillon de sédiment Guidimouni, TE : échantillon d'eau Tabalak, GE : échantillon d'eau Guidimouni*

*LOQ S correspond à la limite de quantification des résidus de pesticides dans les sédiments ;*

*LOQ E, la limite de quantification des résidus de pesticides dans la matrice eau, Les résultats inférieures au LOQ signifient que la matière active recherchée n'est pas présente à cette limite.*

En saison sèche, les teneurs en résidus de pesticides ont varié pour l'Aldrine entre 0,048 et 0,18 mg/Kg à Tabalak, elles étaient sensiblement de 0,088 mg/Kg à Guidimouni. En saison pluvieuse, l'Aldrine, la DDT et le Dicofol ont été détectés au niveau de toutes les parties de ces plans d'eaux. Le Dicofol présente les plus grandes teneurs (455 à 808 mg/Kg à Tabalak et 5 à 582 mg/Kg à Guidimouni). Les teneurs en DDT sont de 0,5 à 1 mg/Kg à Tabalak et 0,6 à 3 mg/Kg à Guidimouni. Pour l'Aldrine, elles sont de 0,08 à 0,3 mg/Kg à Tabalak et 0,04 à 0,3 mg/Kg à Guidimouni. Quant au Lindane, ses teneurs varient de 0,09 à 0,3 mg/Kg à Tabalak et est présent sur les trois niveaux. Par contre à Guidimouni, il a été détecté au de deux points et ses teneurs sont comprises entre 0,03 à 0,3 mg/Kg. Le Fenthion est présent à Tabalak avec 6 mg/Kg et à Guidimouni avec 7 mg/Kg, respectivement au troisième et au premier niveau. Le Diméthoate et le Profenophos ont été détectés uniquement à Guidimouni, dans le deuxième niveau avec respectivement 0,02 et 0,6 mg/Kg. La comparaison des teneurs en résidus de pesticides obtenues avec les normes de qualité environnementale (NQE) susmentionnées pour les sédiments, montre des dépassements (**Tableau 5**). Les teneurs ont été converties en µg/Kg, pour une conformité avec l'unité de la norme. Les chiffres entre parenthèse sont les nombres de fois que la teneur détectée dépasse la norme de qualité requise pour le résidu de la molécule considérée.

**Tableau 5 : Comparaison des teneurs en résidus de pesticides détectés avec les NQE**

Pesticides	TS1	TS2	TS3	GS1	GS2	GS3	NQE
<b>Saison sèche</b>							
Aldrine	87 <sup>(8,7)</sup>	180 <sup>(18)</sup>	48 <sup>(4,8)</sup>	-	88 <sup>(8,8)</sup>	87 <sup>(8,7)</sup>	10
DDT	-	-	10	-	-	-	33,4
Dieldrine	10 <sup>(3,33)</sup>	-	-	-	-	110 <sup>(33,33)</sup>	3
<b>Saison pluvieuse</b>							
Aldrine	80 <sup>(8)</sup>	300 <sup>(30)</sup>	200 <sup>(20)</sup>	300 <sup>(30)</sup>	100 <sup>(10)</sup>	40 <sup>(4)</sup>	10
DDT	1000 <sup>(29,94)</sup>	2000 <sup>(59,88)</sup>	500 <sup>(14,97)</sup>	3000 <sup>(89,82)</sup>	100 <sup>(2,99)</sup>	600 <sup>(17,96)</sup>	33,4
Diméthoate	-	-	-	-	20 <sup>(250)</sup>	-	0,08
Dicofol	708000	808000	455000	582000	5000	8000	-
Fenthion	-	-	6000	7000	-	-	-
Profenophos	-	-	-	-	600	-	-
Lindane	300 <sup>(1250)</sup>	500 <sup>(2083,33)</sup>	90 <sup>(375)</sup>	100 <sup>(416,66)</sup>	-	30 <sup>(125)</sup>	0,24

Ces résultats montrent que seul le DDT trouvé en saison sèche à Tabalak, ne dépasse pas la norme. Parmi les pesticides présents dans les plans d'eau, le lindane présente le plus grand nombre de dépassement (375 à 2083,33 fois supérieures à la norme à Tabalak et 125 à 416,66 fois à Guidimouni). Les plus faibles dépassements sont observés en saison sèche à Tabalak avec la dieldrine (3,33 fois supérieures à la norme) et l'aldrine à Guidimouni durant la saison la saison pluvieuse, sa teneur dépasse 4 fois la norme.

### 3-3. Les Risques écotoxicologiques

L'évaluation des risques écotoxicologiques a été effectuée sur la base de la méthode déterministe. Les résultats sont consignés dans le **Tableau 6**.

**Tableau 6 : Quotient de Risque (QR) des pesticides détectés sur les algues, crustacés et poissons**

Pesticides	Algues		Crustacées				Poissons			
	QR (Algues vertes)		QR ( <i>Daphnia Magna</i> )		QR ( <i>Oreochromis niloticus</i> )		QR ( <i>Clarias gariepinus</i> )		QR (Poisson d'eau douce)	
	Tab	Guid	Tab	Guid	Tab	Guid	Tab	Guid	Tab	Guid
<b>Saison sèche</b>										
Aldrine	3,38	0,86	25,39	6,46					209,11	53,23
DDT	0,053	-	1,28						0,45	
Dieldrine	1,77	5,44	0,42	1,28	17,5	53,5	8,97	27,43	0,21	0,642
<b>Saison pluvieuse</b>										
Aldrine	2,33	5,70	17,5	42,82					144,11	352,64
DDT	2,01	6,61	72,4	238,2					25,85	85,07
Diméthoate		1,42		43,72		1,37		1,76		0,1
Dicofol	17674,81	17082,15	36990,85	35750,5					44644,13	43147,15
Fenthion	170,87	180,06	2751,92	12595,34			3,92	17,96	829,94	3798,62
Profenophos		78,48		74,4		42,75				32,92
Lindane	4,07	2,66	7,03	4,6	2553,92	560,82	229,45	50,38	5,02	3,28

Tab : Tabalak et Guid : Guidimouni

Les teneurs en pesticides à Tabalak et à Guidimouni exposent les algues, les crustacés et les poissons à des risques faibles  $QR < 0,1$ , moyens QR compris entre 0,1 et 1, et très élevés  $QR > 1$ . En saison pluvieuse les risques sont très élevés pour tous les organismes en dehors de chez les poissons d'eau douce, où la teneur



en résidus de Diméthoate des sédiments présente des risques moyens ( $QR = 0,1$ ). Pendant la saison sèche les risques sont moyens et élevés à Guidimouni par contre à Tabalak, ils sont faibles à élevés. En effet, à Tabalak le DDT présente des risques faibles pour les algues vertes et des risques moyens pour les poissons d'eau douce. Les teneurs en Dieldrine à Tabalak et à Guidimouni présentent des risques moyens pour les poissons d'eau douce à Guidimouni et à Tabalak et pour les crustacés à Tabalak. Enfin, les risques liés à l'Adrine sont moyens pour les algues vertes à Guidimouni.

## 4. Discussion

### 4-1. Produits phytosanitaires inventoriés

L'inventaire des produits phytosanitaires a montré qu'un grand nombre de spécialités commerciales (43 à Tabalak et 16 à Guidimouni), sont vendues et utilisées dans la lutte antiparasitaire en cultures maraichères. Des tendances similaires ont été observées par plusieurs auteurs, 16 formulations utilisés dans le maraîchage à Tori-Bossito, dans le sud-Bénin [37], 27 formulations à N'kolo en RDC [38], 22 formulations à Korhogo (Nord Côte d'Ivoire) [39], 68 formulations de pesticides de synthèse, autour de la ville de Niamey [40]. Cet état de fait serait récurrent dans beaucoup de pays africains et trouverait son explication dans la libre commercialisation de ces produits [5]. Les commerçants importent et vendent des produits non homologués (68,76 % et 88,62 % respectivement à Guidimouni et Tabalak), parfois à base de matières actives interdites d'usages. Parmi les produits phytosanitaires inventoriés, on dénombre des produits contenant la dichlorvos. La dichlorvos fait partie des matières actives dont l'utilisation n'est pas autorisée par le CSP [41]. Un autre produit contenant la Carbofurane, une matière active inscrite à l'annexe III de la convention de Rotterdam [42] et interdite d'utilisation au Niger a également été trouvé. Ceci montre, que les lois et les réglementations en la matière ne sont pas appliquées. Des constats similaires ont été faites par [37] au Bénin. Les résultats obtenus en termes de taux de pesticides non homologués dans les deux communes sont supérieurs à ceux obtenus [43] dans le sud-ouest du Togo, qui ont trouvé 65 %. Par contre, [4] ont trouvé que la totalité des produits phytosanitaires dans le département de Madaoua (Niger) n'étaient pas homologués. Les pyréthroïdes et les organophosphorés sont les familles chimiques les mieux représentées des matières actives des produits trouvés. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [40, 44]. En plus, les consignes sécuritaires classent la majorité des matières actives, trouvées au niveau des deux communes, dans la catégorie des produits très toxiques pour les organismes aquatiques. Ce qui doit restreindre l'utilisation de ces derniers à proximité des zones humides.

### 4-2. Contamination des matrices environnementales

L'analyse des matrices environnementales (eau, sédiments) du lac Guidimouni et de la mare de Tabalak révèle la présence de résidus de pesticides que dans les sédiments. Leur absence dans l'eau pourrait être liée à une absorption notable de ces polluants par les sédiments [45], ou une dégradation par photo-décomposition à travers la lumière ou hydrolysés par l'eau [19]. En plus, les chiffres indiqués par le **Tableau 1**, montrent que ces pesticides sont insolubles dans l'eau, ce qui pourrait davantage expliquer cette absence dans la masse d'eau. Des teneurs élevées en insecticides ont été mises en évidence. Leur présence dans toutes parties de ces points relèverait d'un processus d'homogénéisation [46]. Ces insecticides sont : Aldrine, Dieldrine, DDT, Diméthoate, Dicofol, Fenthion, Profenofos et Lindane. Cinq d'entre eux sont des organochlorés et trois des organophosphorés. Certains de ces pesticides sont rémanent (Aldrine, Dieldrine, DDT, Dicofol et Lindane), persistent longtemps dans l'environnement [47]. Toutefois, les autres seraient moins persistant, leur présence indiquerait une application récente. Les organophosphorés, les carbamates, et pyréthroïdes ont été

introduits suite à la prise de conscience sur la persistance et des capacités bioaccumulatives des organochlorés. Certains organophosphorés ont ensuite été également retirés pour les mêmes raisons [48]. L'utilisation ces pesticides (organochlorés et phosphorés) continuerait encore ; ceci explique le fait qu'elles soient les plus détectées. Ceci pourrait expliquer la présence du DDT, lindane, Aldrine, Dieldrine dont l'utilisation est interdite au Niger et le Dicofol ne figure non plus sur la liste des pesticides autorisé par le CSP. Ces pesticides, du fait de leur persistance pourraient tout aussi provenir d'une utilisation antérieure. Toutefois d'après [49], Certains pesticides, les plus anciens et les moins onéreux peuvent persister pendant des années dans le sol et l'eau. L'usage agricole de ces pesticides a été interdit dans les pays développés, mais se poursuivent dans les pays en développements. La plupart de ces matières actives détectées ne figurent pas sur la liste de celles retrouvées dans les produits indiqués par l'inventaire. Cela peut laisser présager soit un usage frauduleux ou encore que certains produits utilisés par les producteurs seraient contrefaits. Leur contenu serait différent de la formulation indiquée sur l'emballage. La présence de ces pesticides au niveau de ces points d'eau pourrait être justifiée par une introduction par divers mécanismes (dérive, drainage, ruissèlement, dépôts) à partir des aires de cultures dans les bassins versants de ces derniers, y compris certaines pratiques observées telle que la mise en culture des parcelles dans les lits de ces plans d'eau au fur et à mesure du retrait de l'eau. Les pesticides seraient retenus par le sol au moment des applications puis relâchés et transportés par le ruissèlement ou les drains vers les plans [46]. Ils sont pour la plupart immobiles dans le sol, se fixant au sol. Le ruissèlement dans les sols de culture durant la saison pluvieuse, aurait dû arracher ces particules, d'où elles se sont retrouvées dans les eaux avant de se déposer sur les fonds sédimentaires. Ces phénomènes pourraient être à la base du nombre plus élevé des matières actives détectées en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Des tendances similaires ont été observées dans la rivière Agbado au Bénin [50] et la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire [51]. Les teneurs en résidus de pesticides mesurées au niveau de ces plans d'eau pour les deux campagnes sont supérieures à celles obtenues par plusieurs auteurs [52 - 54], pour le Profenofos, l'Aldrine, Dieldrine et le Lindane. Les normes de qualité environnementales ont été utilisées pour évaluer l'état écologique des matrices environnementales (eaux et sédiments) dans cette étude. Les concentrations observées dans les sédiments en résidus de pesticides sont hautement supérieures à ces normes. Le dépassement des normes est de l'ordre de 2083,33 fois pour la grande teneur obtenue et de 3,33 fois pour la plus petite. Ces résultats indiquent un mauvais état écologique des sédiments dans la mare de Tabalak et le lac de Guidimouni.

#### 4-3. Les risques écotoxicologiques

La caractérisation des risques liés aux résidus d'insecticides dans les sédiments des deux plans d'eau a permis de mettre en évidence que la présence de ces derniers, à des concentrations telles quantifiés dans les échantillons analysés, constitue pour la plupart des risques élevés ( $QR > 1$ ) pour les organismes aquatiques pris hypothétiquement (algues vertes, *Daphnia magna* et les poissons d'eau douce), mais aussi pour deux espèces de poisson (*Oreochromis niloticus* et *Clarias gariepinus*) qu'abritent les deux plans d'eau. De tous les pesticides (insecticides, herbicides, fongicides), les insecticides sont connus comme les plus toxiques [50]. Les pesticides détectés (Aldrine, Dieldrine, DDT, Diméthoate, Fenthion, Profenofos et Lindane) représenteraient des risques écologiques potentiels élevés pour les organismes aquatiques vivant dans ces points d'eau, en particulier les benthiques. Un essai de toxicité a montré que les risques élevés causés par les pesticides à trois niveaux trophiques (algues, Daphnies et poissons), pourrait entraîner des changements dans les communautés de poissons et des invertébrés qui se traduirait par la diminution des espèces les plus sensibles ou l'augmentation des espèces les plus résistantes accompagnés d'une perte de biodiversité [24]. Les dommages aux écosystèmes entraîneraient l'altération des processus qui peuvent fournir des biens et services [22].

## 5. Conclusion

L'analyse des matrices environnementales du lac de Guidimouni et de la mare de Tabalak a permis de mettre en évidence la contamination des sédiments de ces points d'eaux aux résidus de pesticides. La comparaison des teneurs de ces résidus obtenus par rapport aux normes de qualité environnementales montre un mauvais état écologique de ces sédiments. Les quotients de risque calculés à partir de ces teneurs confirment d'avantage l'état écologique, en indiquant de fortes probabilités d'effets néfastes sur les organismes aquatiques. La variabilité temporelle constatée pour le nombre de pesticides entre saisons sèche et pluvieuse indique la contamination de ces eaux par érosion hydrique. Par ailleurs, la diversité des produits inventoriés au niveau de ces communes et le pourcentage de ceux non homologués indiquent un circuit de vente et une utilisation peu contrôlés. Des mesures permettant la restauration de ces écosystèmes pour une gestion durable doivent être prises.

## Références

- [1] - A. DODO, "Distribution et perspectives pour les produits maraichers au Niger ", *Rapport*. DADHORT, (2012) 10 p.
- [2] - A. KIMBA, "Caractérisation du site maraichère de Bouburké pour l'obtention du diplôme de master II en développement rural "ESMAD-Niamey, (2016) 23 p.
- [3] - AVD, "Rapport national sur la situation des pesticides extrêmement dangereux ", (2019) 62 p.
- [4] - M. N. SANI ADO, A. TANKARI DANBADJO, Y. GUERO, D. TIDJANI ADAMOU, N. DAN LANSO et K. J. M, AMBOUTA, *Géo-Eco-Trop*, 42 (2) (2018) 343 - 350
- [5] - D. O SANI, Y. GUERO ET B. MOUSSA, *Annales de l'Université Abdou Moumouni, Tome XIV-A*, (2013) 13 - 25
- [6] - H. ZOUBEIROU, G. YADJI, T. D. B ABDOURAHAMANE, H. AMADOU H et B. AMADOU, *Env. wat. Sci. H. Ter. Int. J.*, 2 (2) (2018) 63 - 74
- [7] - G. N. NGAKIAMA, G. K. MBELA, C. S. PAUL, C. M. K. YELA et J. A. KOMANDA, *Afrique Science*, 15 (4) (2019) 122 - 133
- [8] - M. COXALL, « ethical eating » Ed guy caswell, (2014)
- [9] - B. L. ABDOULKADER, " Plan de lutte antiparasitaire et de gestion des pesticides ". *Rapport*, (2011) 81 p.
- [10] - M. BASSIROU, " Pratiques phytosanitaires par les producteurs maraichers dans la commune de Guidimouni". Mémoire de licence, Faculté d'Agronomie université Abdoumoumouni de Niamey, (2017) 28 p.
- [11] - D. A. MOUMOUNI, A. HAUGUI, M. GARBA et A. BASSO, *Sch. J. AgricVet. Sci.*, (56) (2018) 314 - 320
- [12] - R. CLAVET, E. BARIUSSO, P. BENOIT, M. P. CHARNOY et Y. CAQUET, Les conséquences agronomiques et environnementales. Ed France Agricole, (2005) 637 p.
- [13] - F. KAFILZADEH, A. H SHIVA-AMIR, R. MALEKPOUR et H. N AZAD, *World J. fish and marine Sci.*, 4 (2) (2012) 150 - 154
- [14] - A. CONGO, "Risques sanitaires associés à l'utilisation des pesticides autour des petites retenues : cas du barrage de Loumbila ". Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie, Ouagadougou/Burkina Faso, (2013) 68 p.
- [15] - T. ABOU, A. KOUASSI-ENERST, A. NATCHIA, T. ADAMA et S. NAGNIN, *Int. J.pure App. Biosci*, 3 (4) (2015) 312 - 322
- [16] - O. AKOTO, A. A. AZUURE et K. D. ADOTEY, *Spring plus*, 5 (1849) (2016) 11 p.
- [17] - M. AGNAOU, M. NADIR, A. A. ALLO, L. BAZZI, Z. E. ALAMI et A. MOUKRIM, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8 (10) (2017) 3496 - 3501

- [18] - E. LANS-CEBALLOS, A. C. PADILLA-JERIMEZ et S. P. HERNEDEZ, *Environmental Science*, 4 (1)(2018) 45 - 55
- [19] - J. LUNDQVIST, B. VON, A. K. ROSENMAI, A. OHLSSON, T. LE GODEC, OJONSSON, J. KRENGER and A. OSKARSSON, *Environ. Sci. Eur.*, 31 (53)(2019) 2 - 13
- [20] - R. O. E. PELEBE, A. T. IMOROU, I. I. TOKO, P. T. A. GUEDEGBA, H. ZOCLANCLOUNON, I. N. OUATTARA et P. KESTMONT, *Annales de l'Université de Parakou*, 7 (1)(2017) 41 - 46
- [21] - I. I. TOKO, O. E. R. PELEBE, R. TONATO, L. N. GUEDEGBA, T. P. AGBOHESSI et P. KESTMONT, *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 12 (3)(2018) 1401 - 1414
- [22] - R. B. SHAFER, B. VOM DEM and L. MATHIAS, *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*, (2011) 111 - 137
- [23] - P. K MAURYA, D. S. MALIK and A. SHARA, in R. KUMAR, J. SINGH AND P. KUMAR Eds "Contaminants in agriculture and environment : health risk and remediation", *Agron. Environ. Media*, hariwar India, (1) (2019) 111 - 128
- [24] - E. LAWRENCE, O. S. OGBEIDE and I. TONGO, *Journal of environmental chemistry and ecotoxicology*, 17 (2) (2014) 20 - 30
- [25] - A. C CANCCAPA, A. MASIA, A. NAVARRO-ORTEGA, Y. PICO et D. BARCELÀ, *Direct- Science*, (2016) 414 - 424
- [26] - A. S. CEMBRANEL, E. P. FRIGO, S. C. SAMPIAO, E. MERCANTE, R. R. DOS-REIS et M. B. REMOR, *Agricultural Engineering*, 37 (6) (2017) 1254 - 1267
- [27] - PDC, "Plan de Développement communautaire de la commune de Tabalak, 2015-2019". Monographie, (2014) 45 p.
- [28] - M. M. ADAMOU, B. ALHOU, Y. NAZOU MOU ET G. ALLOKE, *Int.J.Biol.Chem.Sci.*, 9 (3) (2015) 1665 - 1677
- [29] - M. ISSA, Diagnostic et impacts du maraichage dans la cuvette de Guidimouni, Mémoire de maîtrise géographie, FLSH, UAM de Niamey, (2010) 71 p.
- [30] - COMDEKS, "Développement Communautaire et gestion des connaissances pour l'initiative Satoyama au Niger ". Rapport, (2013) 42 p.
- [31] - Portail Substance Chimiques consulté en ligne le 29 janvier 2020, <http://substances.ineris.fr>
- [32] - US EPA (United States Environmental Protection Agency), USEPA Whasingtown DC, (1998)
- [33] - <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/index2.htm> consulté le 14 Janvier 2020
- [34] - ECOSAR, *Modèle prédictif des relations structure-activité écologique*, <https://w.w.w.epa.gov>
- [35] - INERIS, "Fiches des données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ", *DRC-11-117259-10254A*, (2011) 131 p.
- [36] - C. D. NWANI, P. O. SAMDARE, A. O. NWADINIGWE, G. E. ODO, O. N. UGBAR, J. A. UKONZE et A. B. CHIDIZEIBE, *African journal of biotechnology*, 14 (25) (2015) 2103 - 2113
- [37] - A. M. A ROSALINA GHEHOBE et S. MBOCKE, *Int. J. Adv. Res.*, 5 (11)(2017) 79 - 85
- [38] - P. A. FAI, J. S. T. KINFACK et Y. J. TALATOWA, *Ecotoxycoly*, 26 (7) (2017) 889 - 901
- [39] - K. SHARAFELDIN, H. A. E. RAMZY, M. SWEILUM, M. NAGY, *International Journal of Basic and Applied Sciences*, (4) (1) (2015) 19 - 26
- [40] - E. O. LAWSON, P. E. NDIMELE, A. A. JIMOH et O.O. WHENU, *International journal of animals and veterinaryAdvences*, 3 (2) (2011) 63 - 68
- [41] - A. P. E. YEHOUE NOU, L. C. GLIN, D. S. VODOUHE, J. FANOU, S. VODOUHE, B. VAN-HATUM, K. SWARK et G. CANVAN, *Environ Monit Assess*, 14 (3) (2014) 77 - 86
- [42] - T. M. MULIELE, C. M. MAZENZA, L. W. EKUKE, C. P. DIAKA, D. M. NDDIKUBWAYO, O. M. KAPALAY et A. MUNDELE, *Journal of Applied Biosciences*, 119 (2017) 11954 - 11972
- [43] - G. SORO, N. M. KOFFI, B. KONE, Y. E. KOUAKOU, K. R. M'BRA, P. D. SORO et N. SORO, *Environ Risque Santé*, 17 (2) (2018) 155 - 163
- [44] - S. A. BAFADA, M. D. ADAMOU, H. ADAMOU, B. ALI, A. KIMBA et P. DECMAS, *Afrique Science*, 15 (6) (2019) 374 - 383

- [45] - RECA, "Les produits den type « pia-pia » à base de la matiere active dichlorvos ou DDVP dont l'utilisation est à supprimer au Niger". Note d'information/ traitement phytosanitaire", (2016) 2 p.
- [46] - UNEP/FAO/RC/COP, "Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause, application à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet de d'un commerce international". 8eme réunion, (2017) 2 p.
- [47] - K. ETSE, K. KONDA, S. AKPAVI, K. WALO, K. BATAWILA et K. AKPAGONA, *European Scientific Journal*, 10 (6) (2014) 271 - 283
- [48] - D. SON, I. SOMDA, A. LEGREVE et B. SCHIFFERS, *Cah. Agric*, 26 (2017) 6 p.
- [49] - P. U. GNONSORO, K. M. YAO, B. L. YAO, N. L. B. KOUASSI, A. DEMBELE, S. B. METONGO, M. A. KOUASSI et A. TROKOUREY, *Biol. Chem. Sci.*, 10 (1) (2016) 400 - 411
- [50] - J. B. L. MORALES, J. B. V. TORES, P. J. B. BASTIDA, M. A. A. ESCOLANTE, J. I. S. SANCHEZ, A. L. B. LOBO, C. O. RUBIO et C. C. QUIROY, *Multidiciplianary Scientific journal*, 27 (1) (2017) 45 - 54
- [51] - D. ALIGON, J. BANNEAU, J. GARCIA, D. GOMEZ et D. LE GOFF, "Estimation des expositions de la population generale aux insecticides : les organochlorés, organophosphorés et les pyréthoïdes ". Rapport, (2010) 78 p.
- [52] - J. MARTIN-REINA, J. A DUARTE, L. CERILLOS, J. D. BAUTISTA, I. MORENO, *Journal of Toxins*, (4) (2017) 7 p.
- [53] - OMS, Résidus de pesticides dans les aliments. Consulté en ligne 21 Avril 2020 <http://w.w.w.who.int>
- [54] - M. A. N. GBAGUIDI, H. H. SOCLO, Y. M. ISSA, B. FAYOMI, R. DOGNON, A. AGAGBEA, C. BONOU, A. YOUSAO, L. F. DOUNOU et A. SANNI, Agbado, *Int.J.Biol.Chem.Sci*, 5 (4) (2011) 1476 - 1490
- [55] - K. S. YAO, K. N. KOUAME, K. M. YAO, B. C. ATSE, A. TROKOUREY, A. S. TIDOU, *Afrique Science*, 14 (6) (2018) 400 - 412
- [56] - S. ADAM, P. A. EDORH, H. TOTIN, L. KOUMOULOU, E. NOUSSOU, K. AKLIKOKOU et M. BOKO, *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 4 (4) (2010) 1170 - 1179
- [57] - D. SALOMON, *ACSJ*, 11 (2) (2016) 1 - 6, *Environmental Science*, 4 (1) (2018)
- [58] - F. S. SABRA et E. E. MEHANA, *Asian Journal of Agriculture and Sciences*, 3 (1) (2015) 40 - 59