

Impact des pesticides du cotonnier sur les macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota au Nord Bénin

**Zoulkanerou OROU PIAMI^{1*}, Candide MONTECHO¹, Midogbo Pierre GNOHOSSOU²,
Koudjodé Simon ABAHI¹, Delphine KASSAFA¹ et David Darius ADJE¹**

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

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

(Reçu le 24 Février 2021 ; Accepté le 10 Mai 2021)

* Correspondance, courriel : zoulkpiami@gmail.com

Résumé

La présente étude vise à identifier les pesticides utilisés en production cotonnière le long de la rivière Sota afin de déterminer leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et sur la communauté des macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota. L'enquête menée auprès de 150 producteurs de coton a permis de recenser les différents types de pesticides utilisés. La mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau et l'échantillonnage des macroinvertébrés ont été effectués en période de crue dans six stations. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) et une Analyse Canonique de Correspondances (ACC) ont été utilisées respectivement pour réaliser la typologie abiotique des stations et pour mettre en correspondance les macroinvertébrés et les variables environnementales. Les indices de diversité de Shannon, de Piélou, de Hilsenhoff, EPT et EPT/Chironomidae ont été utilisés pour apprécier les effets des pesticides sur les macroinvertébrés. L'étude révèle que l'Atraforce 30,19 % ; le Califor G 30,19 % ; Kalach 33,96 % sont les herbicides les plus utilisés alors que Décis 26,73 % ; Cotofan 34,04, Tihan 26,53 % sont les insecticides qui sont les plus utilisés. L'analyse des paramètres physico-chimiques a montré que les pesticides ont entraîné une augmentation de la conductivité et du Taux de solide dissous. La macrofaune récoltée est de 4601 individus macroinvertébrés benthiques répartis en quatre classes (Arachnides, Crustacés, Vers et Insectes), 32 familles et 14 ordres. Cette faune aquatique est majoritairement dominée par les insectes (86 %) et les vers 14,06 %. Les familles les plus dominantes sont les chironomidae (39,03 %), les Simuliidae (35,38 %) et les oligochètes (12,17 %). Ce qui révèle la mauvaise qualité des eaux de la rivière Sota dans cette zone agricole. Elle est aussi justifiée par les faibles valeurs des indices de Shannon, de Piélou, d'EPT, d'EPT/C et les fortes valeurs de l'indice de Hilsenhoff.

Mots-clés : *macroinvertébrés, paramètres environnementaux, pesticides agricoles, indice biotique, rivière Sota.*

Abstract

Impact of cotton pesticides on benthic macroinvertebrates of the Sota river in Northern Benin

The present study aims to identify the pesticides used in cotton production along the Sota River in order to determine their effects on the physico-chemical characteristics of the water and on the benthic macroinvertebrate community of the Sota River. The survey of 150 cotton farmers identified the different types of pesticides used. The measurement of the physico-chemical parameters of the water and the sampling of macroinvertebrates were carried out during the flood period at six stations. Principal component analysis (PCA) and canonical correspondence analysis (CCA) were used respectively to carry out the abiotic typology of the stations and to match the macroinvertebrates and the environmental variables. The Shannon, Piélou, Hilsenhoff, EPT and EPT / Chironomidae diversity indices were used to assess the effects of pesticides on macroinvertebrates. The study shows that Atrforce, Califor G, Atrazine are the most used herbicides while Décis, Cotofan, Tihan are the insecticides which are the most used. Analysis of the physico-chemical parameters showed that the pesticides resulted in an increase in the conductivity and the rate of dissolved solid. The macrofauna collected is 4,601 benthic macroinvertebrate individuals divided into four classes (Arachnids, Crustaceans, Worms and Insects), 32 families and 14 orders. This aquatic fauna is mainly dominated by insects (86 %) and worms 14.06 %. The most dominant families are the chironomidae (39.03 %), the Simuliidae (35.38 %) and the oligochaetes (12.17 %). This reveals the poor quality of the waters of the Sota River in this agricultural area. It is also justified by the low values of the Shannon, Piélou, EPT, EPT / C indices and the high values of the Hilsenhoff index.

Keywords : *macroinvertebrates, environmental parameters, agricultural pesticides, biotic index, Sota river.*

1. Introduction

Dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, le coton joue un rôle important dans le développement économique, avec une contribution au PIB qui varie selon les pays. Il représente 3 à 10 % au Burkina Faso, au Mali, au Tchad et au Togo et 13 % au Bénin [1]. La production du coton est devenue une importante culture de rente. Elle a connu une forte augmentation à mesure que les agriculteurs étendaient les superficies emblavées en réponse à l'augmentation du prix du coton qui a suivi la dévaluation du franc CFA [2, 3]. Au Bénin, malgré les études de faisabilité effectuées sur cette filière, ces dernières ne prennent que rarement en compte les effets néfastes sur l'environnement [1]. Car le rendement des cultures est souvent minimisé par la présence de plantes indésirables, d'insectes ravageurs et de différentes maladies [5]. Pour chacun de ces « ennemis », l'industrie a créé un moyen de défense, communément appelé pesticides chimiques agricoles (PCA). Ces PCA sont des produits destinés à combattre des organismes considérés comme nuisibles, que ce soit des plantes, des champignons, des bactéries et des insectes [6]. Cependant, après usages, seulement 0,1 % des pesticides pulvérisés dans les champs atteignent leur cible. Les restes se répandent dans les écosystèmes et contaminent l'air, le sol et l'eau [4]. Les écosystèmes aquatiques sont des réceptacles finals des molécules chimiques libérées dans l'environnement [7]. Depuis plusieurs décennies, le département de l'Alibori fournit plus de la moitié de la production nationale du coton au Bénin [8]. Les ressources en eau et connexes de ce département sont par conséquent exposées aux risques de pollution du fait que la majorité des pesticides est utilisée pour la production cotonnière [9]. Au regard des effets néfastes de ces produits chimiques de synthèse sur les cours d'eau, plusieurs recherches ont été réalisées sur les bassins cotonniers du Bénin. On peut citer entre autre : les travaux de [8] sur les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. Ceux de [3] sur les Pratiques phytosanitaires et

niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord Bénin. Les travaux de [10] sur la Biodiversité et structure des macroinvertébrés benthiques du bassin cotonnier béninois. Les études de [11] ont porté sur l'évaluation de la qualité des eaux des ruisseaux du cours moyen de la rivière Alibori par l'étude des macroinvertébrés benthiques dans le bassin cotonnier du Bénin. Et ceux de [12, 4] respectivement sur la Caractérisation des pesticides chimiques utilisés en production cotonnière et impact sur les indicateurs économiques dans la Commune de Banikoara au nord du Bénin et l'État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. Cependant, notre connaissance reste toujours limitée, car aucune de ces études antérieures, ne met en exergue les effets des PCA sur les macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota qui représente l'une des trois rivières du bassin cotonnier béninois. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des pesticides sur l'eau et les macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota. De façon spécifique, l'étude vise (i) l'identification des pesticides utilisés en production cotonnière le long de la rivière Sota et leurs sources d'approvisionnement ; (ii) la détermination des effets de pesticide sur la qualité de l'eau de la rivière Sota ; (iii) d'analyser l'effet des pesticides sur la richesse spécifique, l'abondance, la structure et la diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du milieu d'étude

La rivière Sota est l'une des trois rivières du bassin cotonnier béninois. Son cours principal à une longueur d'environ 254 Km et sa superficie couvre environ 13 360 km², soit 11 % de celle du Bénin. Cette rivière est entièrement située au nord du Bénin dans les départements du Borgou et de l'Alibori. Elle couvre les communes de Malanville, Ségbana, Kandi et Gogounou dans le département de l'Alibori et les Communes de Bembèrèkè, Kalalé et Nikki dans le département du Borgou. Elle est localisée entre 9°54' et 11°95' de latitude Nord et 2°28' et 3°52' de longitude Est [13]. Elle est limitée au Nord-est par le sous bassin versant du Niger à Malanville, au Sud par le bassin versant de l'Ouémé, au Sud-est par le bassin versant de Za, à l'Ouest par le bassin versant de l'Alibori et à l'Est par les sous bassins versants de Nogourou, de Quinté et d'Ana. La Sota prend sa source à plus de 400 m d'altitude sur les flancs Est du plateau gréseux de Kalalé qu'elle va contourner par le Nord avant d'emprunter la direction SSW-NNE sur les formations du socle. Quatre-vingt-dix (90) km après sa source, elle pénètre dans les formations gréseuses du Crétacé qu'elle entaille assez profondément et rejoint après 250 km de parcours, le Niger à 1 km en aval de Malanville [14]. Cette rivière reçoit successivement le Souamon sur sa rive gauche, le Tassiné (long de 102 km avec une superficie de 3031 km²), le Bouli (145 km de long et 2380 km² de superficie), l'Irané (55 km de long et 1832 km² de superficie), le Gouroukpa et la cascade de Sosso sur sa rive droite [14] (*Figure 1*). La Sota traverse la forêt des trois rivières, la forêt de la Sota et la forêt de Goungoun ainsi que deux pistes principales (N'dali-Kalalé et Kandi-Ségbana).

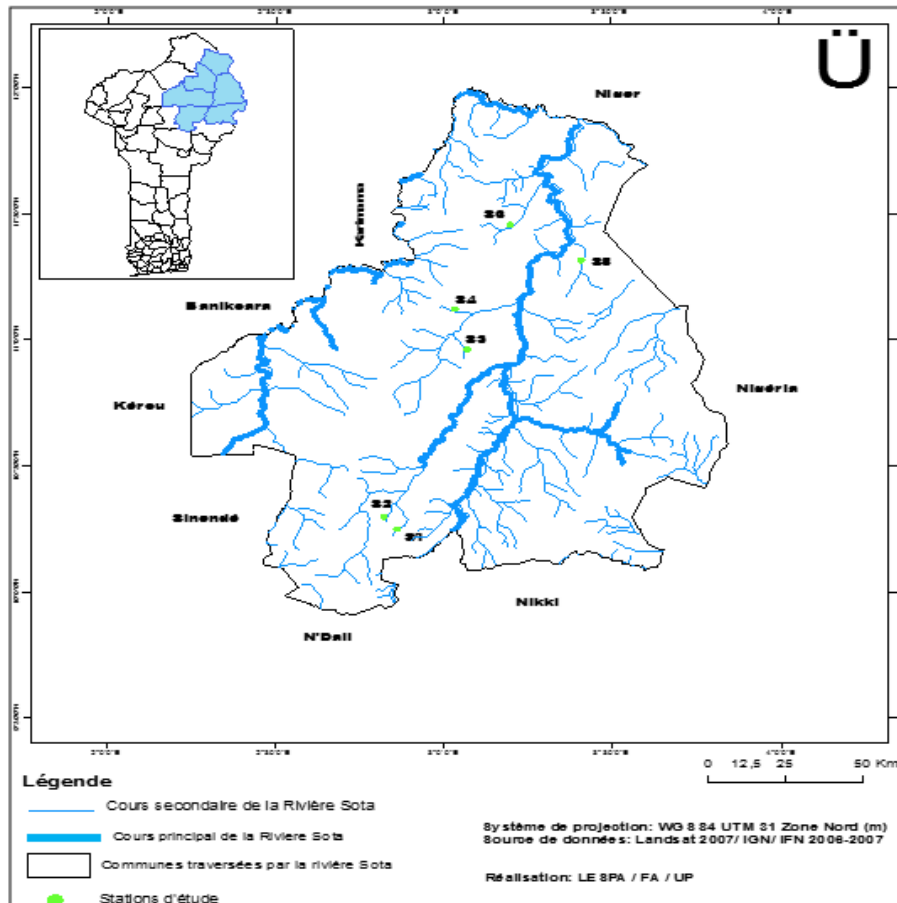


Figure 1 : Carte de la rivière Sota montrant les stations étudiées

2-2. Mesure de la qualité physico-chimique de l'eau

Au niveau de chaque station d'étude (**Tableau 1**), les paramètres physiques (température, profondeur, transparence, TDS, conductivité, pH, et les coordonnées géographiques) ont été mesurés in situ très tôt le matin entre 08 Heures et 12 Heures, avant l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques pour éviter les effets de l'ensoleillement et les perturbations anthropiques dans le milieu. Ainsi, un pH-mètre portable a été utilisé pour mesurer le pH; un disque de Secchi a permis de mesurer la transparence et la profondeur de l'eau et la conductivité ; le TDS et la température de l'eau sont mesurés à l'aide d'un conductimètre. Les coordonnées géographiques des milieux ont été prises à l'aide d'un GPS.

Tableau 1 : Les différentes stations d'échantillonnages

Station	Nom
S1, S2	Kpedarou
S2, S3	Koutarkroukou
S4, S5	Bannikanni

2-3. Échantillonnage des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés benthiques sont échantillonnés à l'aide d'un filet Surber de vide de maille de 500 µm en période de crue. En effet, le Surber est placé sur le fond du lit, l'ouverture du filet face au courant d'eau et quelques centimètres de substrat ont été grattés et lavés à la main pour entraîner des organismes dans le filet. Douze prélèvements d'une surface unitaire de (0,05 m²) sont réalisés par station. Parmi les 12 prélèvements, 08 ont été faits sur les habitats dominants et 04 sur les habitats marginaux [15]. Dans toutes les stations, les prélèvements ont été faits sur différents substrats selon les méthodes décrites par [16]. Les macroinvertébrés benthiques collectés sont fixés au formaldéhyde 10 % dans des bocaux étiquetés et sont transportés au laboratoire.

2-4. Identification des macroinvertébrés

Au laboratoire, les macroinvertébrés échantillonnés sont lavés, rincés à l'eau propre puis triés sous une loupe binoculaire. Ensuite ils sont identifiés à l'aide des clés d'identification suivantes : les Macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie; le Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec; les invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie et l'aquatic entomology. Les macroinvertébrés sont séparés et regroupés par taxon de la classe jusqu'à la famille sauf pour les Oligochètes, les Némathelminthes, les Hydracariens, les Hydrozoaires, les Spongiaires, les Bryozoaires et les Nemertiens, qui sont gardés comme tels. L'identification des spécimens s'est effectuée suivant les clés de détermination proposées par [17 - 19] en vue d'établir la liste faunistique. L'opération d'identification s'est achevée par la conservation de ces organismes dans de l'alcool à 70 % au laboratoire.

2-5. Traitement des données et analyses statistiques

2-5-1. Traitement des données

L'analyse des données sur les pesticides et celles des macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota ont été faite grâce à des métriques tels que l'abondance taxonomique, la richesse taxonomique, la fréquence d'observation, l'indice de diversité de Shannon et de l'indice de Piélou.

- L'indice de diversité de Shannon (H') a été calculé selon la **Formule** de Shannon [20]:

$$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i \quad (1)$$

avec p_i l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon.

- L'indice d'Equitabilité (E) de Piélou [21] qui est le rapport de la diversité réelle à la diversité maximale a été calculé par la **Formule** :

$$E = H' / \log_2 S \quad (2)$$

avec S la richesse spécifique.

La fréquence d'observation (FO) des familles est le rapport entre le nombre de station où la famille est présente par le nombre total de stations étudiées. Les familles "très fréquentes" ont une fréquence d'observation supérieure ou égale à 50 % ; les familles "fréquentes" ont une fréquence d'observation comprise entre 25 et 50 % et les familles "rares" ont une fréquence d'observation inférieure à 25 %. La variabilité de ces métriques et des paramètres physico-chimiques ont été évaluées avec le test de Kruskal-Wallis au seuil de 5 % avec le logiciel R3.4.2 [22], Package Rcmd et Factominer)

2-5-2. Analyses statistiques

L'analyse factorielle des correspondances et la classification hiérarchique ont été faites pour grouper les stations, en fonction de la similarité d'association des familles des macroinvertébrés. De même, une Analyse Canonique de Correspondances a été réalisée à l'aide du logiciel Past (PAleontological STatistics : [23]). Cette analyse a mis en correspondance les données biotiques (32 familles) et les données abiotiques (6 paramètres physico-chimiques) obtenues pendant l'échantillonnage.

3. Résultats

3-1. Les produits chimiques agricoles (PCA) utilisés dans le bassin cotonnier du Bénin

Le **Tableau 2** révèle que dix (10) PCA ont été répertoriés dans la zone d'étude dont six (06) herbicides, et quatre (04) insecticides. Les herbicides les plus utilisés par les producteurs sont respectivement Kalach (33,96 %), Atrforce (30,19 %) puis Califor G (30,19 %). De plus, les insecticides les plus utilisés par les producteurs dans le bassin cotonnier du Bénin sont respectivement : Décis (36,73 %), Cotofan (34,04 %) et Tihan (29,79 %). On remarque que le Décis est le plus utilisé de tous les insecticides répertoriés.

Tableau 2 : Pesticides répertoriés lors de l'étude

Pesticides	Noms	Fréquence absolue	Taux d'utilisation (%)
Herbicides	Atrforce	96	30,19
	Atrazine	6	1,89
	Califor G	96	30,19
	Gala super	12	3,77
	Glycel	6	1,89
	Kalach	144	33,96
Insecticides	<i>Décis</i>	108	36,73
	<i>Cotofan</i>	102	34,04
	<i>Tihan</i>	78	26,53
	<i>Antocifan</i>	6	1,89

3-2. Doses de pesticides chimiques agricoles appliquées par les producteurs

3-2-1. Dose d'herbicide appliquée par les producteurs

La dose minimale d'herbicide appliquée est de 2 litres/hectare et cette dose est appliquée par 8,67 % des enquêtés. La dose maximale est de 8 litres par hectare et elle est appliquée par 4 % des enquêtés. La dose moyenne appliquée dans la zone est de 4,48 litres par hectare (**Tableau 3**). La dose d'application recommandée varie selon l'enherbement du champ. Il est de 3 litres par hectare selon le nouveau programme de protection phytosanitaire du cotonnier de la campagne 2018-2019 adopté. On remarque que 14 % des producteurs appliquent la moyenne recommandée pour l'herbicide. Pour ceux qui n'appliquent pas la dose moyenne recommandée : 77,34 % appliquent des doses supérieures et 8,67 % des producteurs appliquent des doses inférieures. Ainsi, la dose moyenne appliquée est supérieure à celle recommandée.

Tableau 3 : Doses d'application d'herbicides

Dose appliquée (L/ha)	Fréquence	Fréquence relative (%)	Fréquence relative cumulée (%)	
2	13	8,67	8,67 %	< à la moyenne recommandée
3	21	14,00	14,00 %	moyenne recommandée
4	40	26,67	77,34 %	> à la moyenne recommandée
5	45	30,00		
6	25	16,67		
8	6	4,00		
Dose moyenne appliquée = 4,48 L/hectare et Dose recommandée = 5,00 L/hectare				

3-2-2. Dose d'insecticide appliquée par les producteurs

On remarque que 5,33 % des producteurs appliquent des doses inférieures à celle recommandée et 86 % des producteurs appliquent des doses supérieures à celle recommandée. Seulement 8,67 % des producteurs appliquent la dose de deux flacons par hectare. On remarque que la dose moyenne appliquée est supérieure à celle recommandée (*Tableau 4*)

Tableau 4 : Doses d'insecticides

Nombre de flacons/ha	fréquence	Proportion (%)	%producteurs de coton	Dose de pesticides
1	8	5,33	5,33 %	< à la dose recommandée
2	13	8,67	8,67 %	Dose recommandée
3	14	9,33	86 %	> à la dose recommandée
4	21	14,00		
5	23	15,33		
6	46	30,67		
7	18	12,00		
8	7	4,67		
Nombre moyen de flacons appliqués par hectare = 4,89 et Dose recommandée = 2,00 L/hectare				

3-3. Distance des points d'eau par rapport aux champs

La *Figure 2* renseigne sur les distances entre les champs et les cours d'eau ou les barrages du milieu d'étude. Les résultats indiquent que 18,7 % des producteurs enquêtés ont un champ situé à moins de 50 m d'un cours ou plan d'eau. Les producteurs dont les champs sont situés à des distances comprises entre 50 m et 100 m des cours d'eau constituent 42,7 % des enquêtés ; ceux dont les champs sont situés à plus de 100 m et 500 m représentent respectivement 14,7 % et 24 % des producteurs enquêtés.

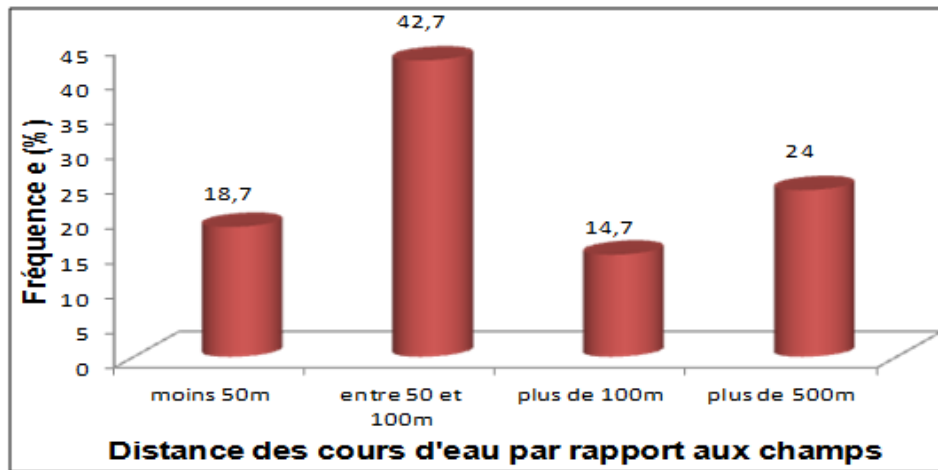


Figure 2 : Distance des cours d'eau par rapport aux champs

3-4. Effets des pesticides sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la rivière Sota

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés sont présentées dans le **Tableau 5**. L'analyse du tableau indique que les valeurs de la température, de la transparence et de la profondeur les plus faibles ont été enregistrées au niveau des stations de Kpedarou 1 et 2 (l'amont) et les plus fortes valeurs aux stations de Banikanni 1 et 2. Ainsi, la température, la transparence et la profondeur suivent une zonation longitudinale. Les valeurs de pH les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations Koutarkroukou. Les valeurs de la conductivité ont oscillé entre 52,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 153,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et celle du TDS entre 26 mg/L et 77 mg/L. Ainsi, les valeurs faibles de ces paramètres ont été enregistrées aux stations de Kpedarou et les fortes valeurs aux stations de Koutarkroukou. De façon générale, les paramètres physico-chimiques des eaux étudiées ont varié significativement entre les stations ($p < 0,05$).

Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la rivière

Stations	Kpedarou1	Kpedarou2	Koutakrou1	Koutakrou2	Banikanni1	Banikanni2
Température	29,45 \pm 0.21	29,6 \pm 0.0	31,55 \pm 0.49	30,9 \pm 0.42	36,2 \pm 0.14	38 \pm 0.00
pH	7,25 \pm 0.07	7,3 \pm 0.00	7,55 \pm 0.07	7,63 \pm 0.07	7,2 \pm 0.00	7,4 \pm 0.00
Transparence	8,25 \pm 0,35	9,25 \pm 0,35	9,5 \pm 0.70	8,5 \pm 0,35	15,5 \pm 0,32	12,75 \pm 0,25
Profondeur	8,25 \pm 0,35	9,25 \pm 0,35	9,5 \pm 0.70	9 \pm 0,35	15,5 \pm 3,53	12,75 \pm 1,06
conductivité	52,5 \pm 2.12	52 \pm 2.82	153,5 \pm 4.95	153,5 \pm 4.72	128,5 \pm 2.12	128,5 \pm 2.82
TDS	26 \pm 1.41	26 \pm 1.41	77 \pm 2.83	76,5 \pm 0.70	64 \pm 1.41	63,5 \pm 0.70

3-5. Effets des pesticides sur l'abondance, la structure et la diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota

3-5-1. Abondance des classes de macroinvertébrés

La macrofaune récoltée sur l'ensemble des six stations est constituée de 4601 individus macroinvertébrés répartis en quatre classes (Arachnides, Crustacés, Insectes, Mollusques et Vers), 32 familles et 14 ordres. Cette faune aquatique est majoritairement dominée par les insectes (85,55 %) et par les vers (13,37 %) (**Figure 3**).

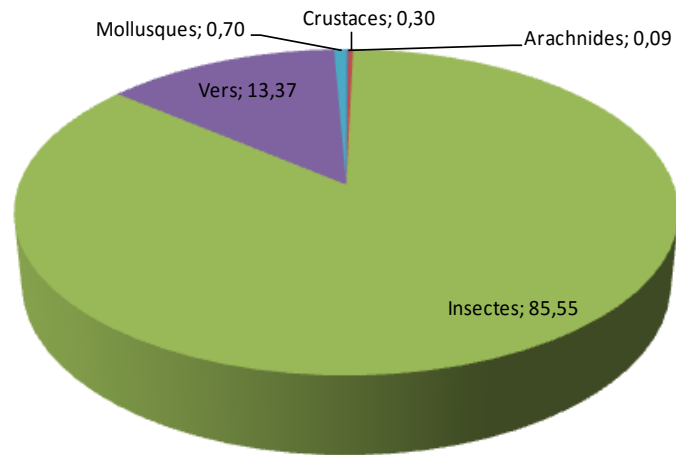


Figure 3 : *Abondance relative des classes de macroinvertébrés capturés*

3-5-2. Abondance des familles de macroinvertébrés

Le **Tableau 6** présente l’abondance des différentes familles récoltées sur la rivière Sota. L’analyse de ce **Tableau** indique que les familles dominantes sont les chironomidae (39,03 %), les Simuliidae (35,38 %) et les oligochètes (12,17 %).

Tableau 6 : *Macroinvertébrés collectés au niveau de la rivière Sota*

Ordre	Familles	Kpe1	Kpe2	Kou1	Kou2	Ban1	Ban2	AA	AR(%)
HYDRACARIENS	Hydracariens	0	1	0	0	0	0	1	0,02
NEMATHELMINTES	Nemathelminthes	2	0	0	0	1	0	3	0,07
DÉCAPODES	Potamonidae	0	0	1	0	0	0	1	0,02
OSTRACOPODA	Ciprinidae	0	1	0	12	0	0	13	0,28
COLÉOPTÈRES	Dytiscidae	3	13	1	0	0	39	56	1,22
	Elmidae	0	1	0	0	0	0	1	0,02
	Gerridae	0	0	1	0	0	0	1	0,02
	Gyrinidae	0	0	0	0	1	0	1	0,02
	Haliplidae	0	0	0	0	0	5	5	0,11
	Noteridae	0	0	0	0	0	4	4	0,09
DIPTÈRES	Stratiomyidae	0	0	0	3	0	0	3	0,07
	Ceratopogonidae	0	0	3	2	0	0	5	0,11
	Chironomidae	21	36	621	701	257	160	1796	39,03
	Simuliidae	5	1	766	721	71	64	1628	35,38
ÉPHÉMÉROPTÈRES	Ameletidae	29	51	0	0	0	0	80	1,74
	Caenidae	5	3	0	0	0	0	8	0,17
	Ephemerellidae	11	32	0	0	1	0	44	0,96
	Isonychiidae	16	8	0	0	2	0	26	0,57
	Leptohyphidae	1	0	0	0	0	0	1	0,02
TRICHOPTÈRES	Hydropsychidae	53	11	0	0	2	0	66	1,43
	Belostomatidae	0	0	1	0	0	0	1	0,02
	Mesoveliidae	6	6	0	0	0	0	12	0,26

HÉTÉROPTÈRES	Nepidae	0	0	0	0	2	1	3	0,07
	Notonectidae	3	14	0	0	14	12	43	0,93
	Veliidae	2	6	0	0	0	15	23	0,5
ODONATES	Lestidae	6	6	0	0	1	11	24	0,52
	Libellulidae	7	21	0	0	5	72	105	2,28
ACHETES	Glossophoniidae	0	0	1	2	0	0	3	0,07
GASTÉROPODES	Physidae	0	0	0	4	27	0	31	0,67
	Planorbidae	0	0	1	0	0	0	1	0,02
OLIGOCHÈTES	Oligochètes	2	8	241	272	22	15	560	12,17
TRICLADES	Planariidae	0	0	24	27	0	1	52	1,13
	Total	172	219	1661	1744	406	399	4601	100

Kpe = Kpedarou, *Kou* = Koutarkroukou, *Ban* = Banikanni, *AA* = Abondance absolue, *AR* = Abondance relative

3-5-3. Variation spatiale des indices de diversité de Shannon (H') et d'équitabilité de Piélou

De l'analyse de la **Figure 5**, il ressort que l'indice de diversité de Shannon et l'indice d'équitabilité de Piélou sont élevés au niveau des stations de Kpedarou (Amont) alors que les valeurs les plus faibles sont observées au niveau des stations de Koutarkroukou (zone cotonnière). Enfin, ces indices ont montré des différences significatives ($p < 0,05$) entre les stations d'études.

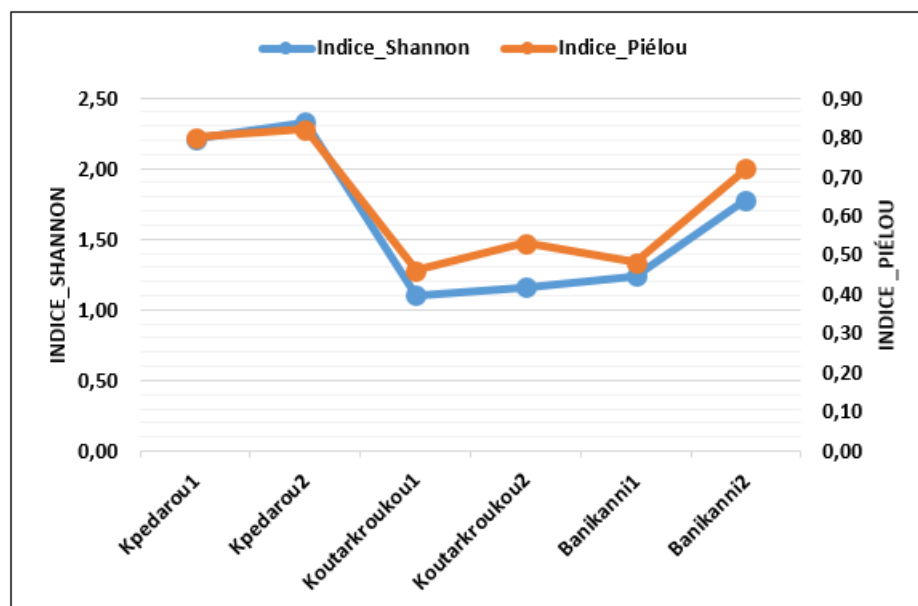


Figure 5 : Variation spatiale des indices de diversité de Shannon (H') et d'équitabilité de Piélou

3-5-4. Variation spatiale des indices EPT et EPT/ Chironomidae

Le **Tableau 8** présente les valeurs des indices EPT et EPT/Chironomidae. Il relève que les indices EPT et EPT/Chironomidae sont élevés au niveau des stations de Kpedarou et sont nuls au niveau des stations de Koutarkroukou, qui représentent les stations soumises à l'influence des pesticides.

Tableau 8 : Variation spatiale des indices EPT et EPT/ Chironomidae

Stations	Kpe1	Kpe2	Kou1	Kou2	Ban1	Ban2
Descripteurs						
Abondance totale	172	219	1661	1744	406	399
Abondance EPT	115	105	0	0	5	0
Abondance Chironomidae	21	36	621	701	257	160
%EPT	66,86	47,95	0	0	1,23	0
EPT/ Chironomidae	5,48	2,92	0	0	0,02	0

3-5-5. Relation entre les macroinvertébrés et les paramètres physico-chimiques

L'analyse canonique de correspondance (ACC) réalisée entre les paramètres physico-chimiques et les densités des macroinvertébrés montre que les informations contenues dans les variables sont contrôlées à 88,77 % par les deux axes. Les paramètres comme la température, la conductivité et le TDS sont les facteurs qui influencent plus la distribution des macroinvertébrés (*Figure 7*). Le premier axe est positivement et fortement corrélé aux familles : Leptohiphidae, Caenidae, Mesoveliidae, Ameletidae, Hydropsychidae, Hydracariens, Elmidae, Ephemerellidae, Isonychiidae tandis qu'il est fortement et négativement lié aux Planariidae, Stratiomyidae, Glossiphoniidae, Ceratopogonidae, Potamonidae, Gerridae, Belostomatidae, Planorbidae, Physidae, Gyrinidae, à la conductivité et aux TDS. Concernant le second axe, il est positivement et fortement lié aux familles des Hydracariens, Elmidae, Ephemerellidae, Ameletidae, Mesoveliidae, Caenidae, Isonychiidae, Hydropsychidae et Leptohiphidae tandis qu'il est fortement et négativement associé aux Veliidae, Dytiscidae, Libellulidae, Haliplidae, Noteridae, à la température, la transparence et la profondeur.

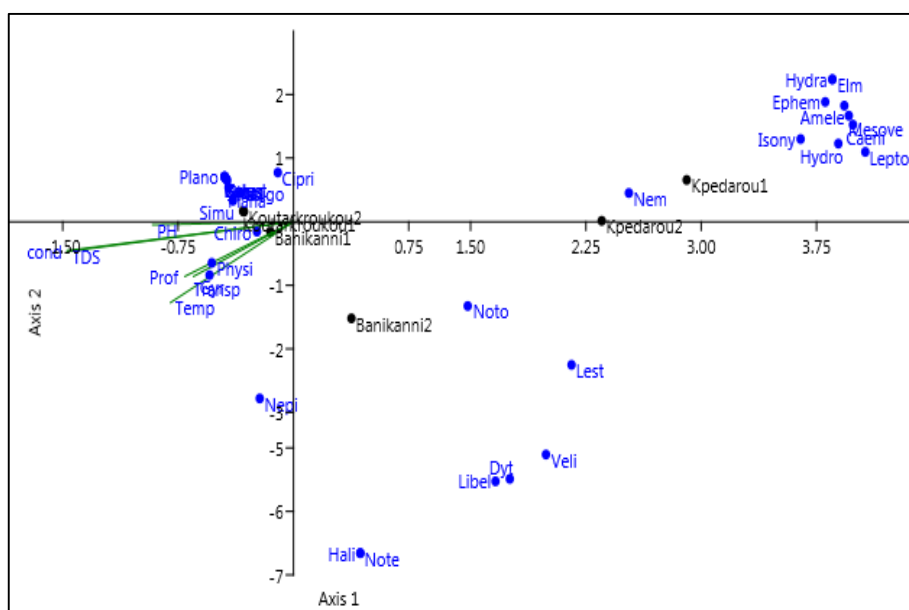


Figure 7 : Relation entre les macroinvertébrés et les paramètres physico-chimiques

Amele = Ameletidae, Hydro = Hydropsychidae, Hydra = Hydracariens, Nep = Nepidae, Lest = Lestidae, Veli = Veliidae, Phy = Physidae, Hail = Haliplidae, Isony = Isonychiidae, Lib = Libellulidae, Nem = Nematodes, Oli = Oligochetes, Ephem = Ephemerellidae, Plano = Planorbidae, Elm = Elmidae, Note = Noteridae, Noto = Notonectidae.

4. Discussion

4-1. Caractérisation des pesticides utilisés en production cotonnière le long de la rivière Sota

La grande partie des herbicides et insecticides sont acquis dans le circuit informel. Ce fait s'explique par la cherté des PCA et le retard dans la distribution. Le constat a été déjà fait par [8, 24] qui ont révélé un risque environnemental lié à la qualité des herbicides utilisés du fait que très peu d'agriculteurs continuent de faire confiance aux produits phytosanitaires officiellement autorisés, alors que la composition des pesticides de l'informel est généralement mal connue. Les doses d'insecticides utilisés sont plus fortes que celles recommandées et les doses les plus élevées sont utilisées aux abords des plans d'eau. Ces mêmes résultats ont été prouvés par [8] au Bénin, [33] en Côte d'Ivoire, [28] au Togo, [34] au Niger, [29] au Burkina Faso. Ces différents auteurs soulignent la mauvaise gestion des produits phytosanitaires et signalent les menaces de risques sanitaires pour les utilisateurs ou les consommateurs. La santé des utilisateurs semble aussi menacée du fait que la majorité des producteurs néglige la protection comme l'ont révélé [33].

4-2. Effets des pesticides sur les paramètres physico-chimiques de l'eau de la rivière Sota

Les valeurs de conductivité et de TDS (deux indicateurs de la minéralisation de l'eau) enregistrées dans cette étude sont très élevées. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par [31] sur l'Ouémé supérieur, mais elles sont supérieures à celles de [30] enregistrées sur Affon. La différence des valeurs de la conductivité et de TDS des résultats de la présente étude et celles de ces auteurs pourrait être due non seulement à la différence entre les cours d'eaux mais aussi à la différence de pouvoir auto-épuration que possèdent ces cours d'eaux. Les valeurs de pH obtenues dans cette étude varient entre 7,2 et 7,4. Ces valeurs sont dans la limite tolérable (6,5 et 8,5) qui caractérise les eaux où se développe la vie aquatique de manière optimale [35]. Les valeurs de pH obtenues dans notre étude sont similaires aux valeurs de pH mesurées par [31] sur la rivière Affon. La température enregistrée est comprise entre (29,45°C et 38°C). Ces valeurs obtenues sont supérieures à celle enregistrées de [31]. On observe également une augmentation de la température de l'amont vers l'aval, qui peut être expliquée par une déforestation accrue de la berge de la Sota en faveur de l'agriculture. Elle favorise l'accès des rayons solaires à l'eau.

4-3. Effets des pesticides sur la communauté des macroinvertébrés benthiques de la rivière Sota

D'une façon générale, la composition faunistique de la macrofaune benthique de la rivière Sota correspond à celle des eaux douces africaines [36, 37, 38]. Les études antérieures sur les macroinvertébrés aquatiques faites par [39] dans le bassin de la rivière Alibori et par [10] dans les ruisseaux et les retenues d'eau du bassin cotonnier béninois rapportent que les insectes sont les communautés les plus dominantes. Les résultats obtenus sur la rivière Sota restent en adéquation avec ces études antérieures. En outre, 25 familles des macroinvertébrés benthiques sont enregistrées dans cette étude. Cette richesse taxonomique observée est très faible par rapport à celle qu'indiquent les études menées par [40] dans le cours d'eau Nga au Cameroun (59 familles). Par contre, la richesse taxonomique obtenue dans la zone d'étude est supérieure à celle (26 familles) enregistrée par [10] sur les ruisseaux et retenues d'eaux du bassin cotonnier béninois et supérieure aussi (24 familles) à celle obtenue par [31] sur le cours d'eau Affon. La différence des valeurs de la richesse taxonomique rencontrées dans la présente étude et celles de ces auteurs seraient dues non seulement à la différence des périodes d'échantillonnage (saison sèche) mais aussi aux stress liés aux intempéries climatiques et aux agressions physico-chimiques dues à l'utilisation des pesticides chimiques agricoles (PCA). L'étude a permis de récolter 4601 individus de macroinvertébrés benthiques. Cette composition faunistique

est inférieure à celle (39718 individus) observé par [39] et largement supérieur à la composition faunistique (686 individus) observée par [10] dans la rivière Alibori. La différence du nombre d'individu des macroinvertébrés obtenue par rapport à ces auteurs pourrait être liée au type du filet suber et aussi à la période de l'échantillonnage. En dépit de la forte richesse des insectes, les ordres polluo-sensibles : Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères sont quasi inexistantes dans la zone de production cotonnière et en aval. Notons aussi une disparition totale des Plécoptères sur tout l'ensemble des stations d'échantillonnages. Cette forte richesse des macroinvertébrés polluo-résistants au détriment des Ephéméroptères, des Plécoptères et des Trichoptères, dont la présence est indicatrice d'une eau de bonne qualité, indique un milieu perturbé [41]. Des travaux similaires réalisés en eau douce par [31, 39, 10] indiquent que la richesse spécifique des Ephéméroptères et des Plécoptères baisse avec la pression des activités anthropiques. L'impact des pesticides sur la diversité et la structure des macroinvertébrés de la rivière Sota ont été analysés à travers les indices de diversité de Shannon (H) et de l'équitabilité (E) de Piélu. Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon et de l'équitabilité de Piélu sont plus élevées dans les stations situées en amont et en aval que celles obtenues dans les stations localisées dans la zone de production agricole. Cela permet de soutenir que la communauté de macroinvertébrés dans la zone de production agricole est peu diversifiée et mal organisée. Selon [42], les faibles valeurs de l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélu traduisent des communautés peu diversifiées avec un faible degré d'organisation. La station de Kpedarou 2, avec ses valeurs maximales de l'indice de diversité (H : 2,33) et de l'équitabilité (E : 0,82), apparaît comme la station la plus diversifiée, la plus stable et la mieux organisée. La communauté des macroinvertébrés benthiques des stations de Koutarkroukou 1, Koutarkroukou 2 et Banikanni 1 apparaît très déséquilibrée avec les plus petites valeurs des indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélu. De même, les faibles valeurs du rapport Plécoptères, Ephéméroptères et Trichoptères (EPT)/Chironomidae obtenues dans la zone de production et en aval illustrent parfaitement les perturbations causées par les pesticides. L'analyse de la structure des communautés de macrofaune obtenue montre une distribution de deux groupes. Le groupe (I) est caractérisé par la présence des organismes polluo-sensibles et des stations de références et le groupe (II) est représenté par la présence des organismes polluo-tolérant et des stations polluer. L'assemblage des stations de Koutarkroukou 1 ; Koutarkroukou 2 et Banikanni 1 ; caractérisées par de fortes valeurs de conductivité et de TDS ; avec une faible présence des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (1,23 % de l'abondance totale) pourraient être attribués à une forte minéralisation de ces stations suite à l'augmentation de la température.

5. Conclusion

Sur les 48 échantillons prélevés dans la rivière Sota, la présente étude a permis de dénombrer 4601 individus de macroinvertébrés aquatiques réparties en 5 classes, 06 ordres et 32 familles. La classe des insectes (85,55 %) est la plus diversifiée et l'ordre des diptères (74,59 %) et des Oligochètes (12,13 %) sont la plus abondants. La famille des Chironomidae (39,03 % individus) et des Simuliidae (35,38 % individus) ont été les familles les plus dominantes, surtout dans les stations proches des champs de coton. Le non-respect de la dose d'application des pesticides et de la distanciation des champs par rapport aux cours d'eaux par les producteurs facilite le drainage et l'accumulation des résidus issue des pesticides dans ces stations. Ce fait offre des conditions propices au développement des Chironomidae et des Simuliidae au détriment des ordres polluo-sensibles (Plécoptères, Ephéméroptères et Trichoptères). Cette situation est corroborée par les faibles valeurs des indices de Shannon, de Piélu, d'EPT, d'EPT/C. Ce qui traduit la mauvaise qualité des eaux de la rivière Sota dans cette zone de production agricole.

Références

- [1] - CSAO, Importance économique et social du coton en Afrique de l'Ouest: rôle du coton dans le développement, le commerce et les moyens d'existence, (2005) 12 p.
- [2] - FAOSTAT, Situation de production de coton au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, (03/07/2016)
- [3] - A. I. GOUDA, I. IMOROU TOKO, S. D. SALAMI, M. RICHERT, M. L. SCIPPO, P. KESTEMONT et B. SCHIFFERS, Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin. *Cah. Agric.* 27, 65002 (2018)
- [4] - T. P. AGBOHESSI, I. I. TOKO et P. KESTEMONT, État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cahiers Agricultures* 21, (2012) 46 - 56 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.0535>
- [5] - P. FERRON, J. P. DEGUINE et J. E. A MOUTE, Evolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cahiers Agricultures* 15, (2006) 128 - 134
- [6] - I. GIROUX, La présence de pesticides dans l'eau en milieu agricole au Québec. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Evirodoq* n° ENV/2004/0309 ? Collection n° QE/151, (2004) 40 p
- [7] - W. L. CHAO, C. GUANGHUA, W. JING and PERFANG, Sublethal effects of pesticide mixtures on selected biomarkers of *Carassius auratus*, *Environmental Toxicology and Pharmacology* 28, (2009), p 414
- [8] - S. ADECHIAN, M. NASSER BACO, I. AKPONIKPE, I. IMOROU TOKO, J. EGAH et K. AFFOUKOU, Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *[Vertigo] La revue électronique en sciences de l'environnement* 15, (2015) 14 p.
- [9] - ASSOCIATION INTERPROFESSIONNELLE DU COTON AU BENIN (AIC). Campagne cotonnière 2008-2009 : Formation des agents de terrain (No. 27). Parakou et Bohicon, (2008) 6 p.
- [10] - I. IMOROU TOKO, Y. ATTAKPA, P. GNOHOSSOU et E. F. ABOUDOU, Biodiversité et structure des macroinvertébrés benthiques du bassin cotonnier béninois, *Ann. Sci. Agron.*, Vol. 16, No 2 (2012) 197 - 214
- [11] - T. M. AGBLONON HOUELOME, D. ADANDEDJAN, A. CHIKOU, I. IMOROU TOKO, C. BONOU, L. YOUSAO et P. LALEYE, Evaluation de la qualité des eaux des ruisseaux du cours moyen de la rivière Alibori par l'étude des macroinvertébrés benthiques dans le bassin cotonnier du Bénin (Afrique de l'Ouest), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 10, No 6 (2016) 2461 - 2476
- [12] - P. T. AGBOHESSI, I. I. TOKO, J. A. YABI, J. F. C. DASSOUNDO-ASSOGBA et P. KESTEMONT, Caractérisation des pesticides chimiques utilisés en production cotonnière et impact sur les indicateurs économiques dans la Commune de Banikoara au nord du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5, (2011) 1828 - 1841. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.6>
- [13] - H. D. KOUMASSI, Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Couberi (Thèse de doctorat). Université d'Abomey- Calavi Bénin, (2014) 246 p
- [14] - L. LE BARBE, G. ALE, B. MILLET, H. TEXIER, Y. BOREL et R. GUALDE, Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Edition ORSTOM, (1993) 540 p.
- [15] - V. ARCHAIMBAULT L'indice Biologique Global Normalisé français (IBGN, Norme AFNOR NF T90 - 350, 2004) : ses principes et son évolution dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (2004)
- [16] - C. PISCART, Rôle de la salinité dans la dynamique et la régulation de la biodiversité des communautés de macroinvertébrés dulçaquicoles. Thèse de Doctorat, L'Université de METZ, (2004) 231 p.
- [17] - N. MARY, Les macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Guide d'identification. *Version révisée 2017*, DAVAR Nouvelle-Calédonie, (2017) 182 p.

- [18] - J. MOISAN, Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 : surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Développement durable, environnement et parcs Québec, (2010) 82 p.
- [19] - H. TACHET, P. RICHOUX, M. BOURNAUD et P. USSEGLIO-POLATERA, Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie, CNRS Ed., (2000) 588 p.
- [20] - C. E. SHANNON and W. WEAVER, The mathematical theory of communication university of illinois press urbana google scholar, (1949)
- [21] - E. C. PIELOU, An introduction to mathematical ecology, Wiley Intersci. N. Y., (1969)
- [22] - R CORE TEAM, R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing, (2017)
- [23] - Ø. HAMMER, D. A. T. HARPER and P. D. RYAN, Paleontological statistics software: package for education and data analysis, Palaeontol. Electron., No 4 (2001) 9 p.
- [24] - A. A. Agagbé, Etude écotoxicochimique des résidus de pesticides dans le bassin versant de la rivière Agbado par la technique d'analyse ELISA en phase solide. Thèse d'ingénieur des travaux, option : Aménagement et protection de l'environnement. Université d'Abomey-Calavi (Bénin), (2008) p. 65
- [25] - AHOANGNINO, C. FAYOMI et B. T. MARTIN, Évaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Bénin). *Cahiers Agricultures* 20, (2011) 216 - 222
- [26] - A. P. GOMGNIMBOU, P. W. SAVADOGO, A. J. NIANOGO et J. MILLOGO-RASOLODIMBY, Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical : diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso. *BASE* (2009)
- [27] - B. ZOUMENOU, M. P. AÏNA, P. AGBOHESSI, I. I. TOKO et M. L. SCIPPO, 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, (2015) 2184 - 2199
- [28] - M. KANDA, G. DJANEYE-BOUNDJOU, K. WALA, K. GNANDI, K. BATAWILA et A. SANNI, Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* 13(1) (2013) 1 - 17. DOI: 10.4000/vertigo.13456
- [29] - D. SON, I. SOMDA, A. LEGREVE et B. SCHIFFERS, Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cahiers Agricultures* 26, (2017) 6 p
- [30] - O. S. SAMON, F. M. GOUISSI, D. D. ADJE, K. S. ABAHI, C. M. TCHAOU, J. G. OKOYA, Z.O. PIAMI, M. P. GNOHOSSOU, G. OMONIYI and C. PISCART, Abundance and distribution of Macroinvertebrates of the Affon River in Bénin. *Open Journal of Marine Science*, 9 (2019) 173 - 187, <https://www.scirp.org/journal/ojms>
- [31] - K. S. ABAHI, M. P. GNOHOSSOU, H. H. AKODOGBO, Z. O. PIAMI, D. ADJE, C. TCHAOU et J. G. A. OKOYA, Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afrique Science* 14, (2018) 259 - 270
- [32] - T. M. AGBLONON HOUELOME, D. ADANDEDJAN, A. CHIKOU, I. IMOROU TOKO, C. BONOU, L. YOUSAO et P. LALEYE, Evaluation de la qualité des eaux des ruisseaux du cours moyen de la rivière Alibori par l'étude des macroinvertébrés benthiques dans le bassin cotonnier du Bénin (Afrique de l'Ouest), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 10, No 6 (2016) 2461 - 2476
- [33] - M. DOUMBIA and K. E. KWADJO, Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire : cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). *Journal of Applied Biosciences* 18 (2009) 992 - 1002
- [34] - K. M. ILLYASSOU, R. ADAMOU and B. SCHIFFERS, Risk assessment for small farmers exposed to plant protection products in the Niger river valley. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 81 (2017) 1 - 13

- [35] - IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement), Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. (2005) 16 p.
- [36] - J. R. DURAND et C. LEVEQUE, Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome I et Tome II. *ORSTOM. I.R.D. n° 44*. France. 873 p.
- [37] - ANONYME, Guide de terrain des Gastéropodes d'eau douce africains. Afrique occidentale. Danish bilharziasis laboratoy, Danemark, (1981) 31 p.
- [38] - D. DIOMANDE et G. GOURENE G, Premières données sur la macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la Bia (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature 2* (2005) 167 - 176
- [39] - T. M. A. AGBLONON HOUELOME, D. ADANDEDJAN, A. CHIKOU, I. IMOROU TOKO, Z. C. KOUDENOUKPO, I. YOUSAO et P. LALEYE, Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin, *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, Vol. 21, No 3 (2017) 433 - 448
- [40] - M. S. FOTO, T. S. H. ZEBAZE, T. N. NYAMSI et T. NJINE, Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques, *Eur. J. Sci. Res.*, Vol. 43, No 1 (2010) 96 - 106
- [41] - D. ADANDEDJAN, P. LALÈYÈ et G. GOURENE, Macroinvertebrates communities of a coastal lagoon in southern Benin, West Africa, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 6, No 3 (2012) 1233 - 1252
- [42] - A. I. CAMARA, D. DIOMANDE et G. GOURENE, Impact des eaux usées et de ruissellement sur la biodiversité des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco; Côte d'Ivoire), *Sci. Vie Terre Agron.*, Vol. 2, No 1 (2014) 58 - 68