

## **Contamination, distribution et évaluation des risques écologiques par les pesticides dans les sédiments de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire**

**Koffi Simplicie YAO<sup>1,3\*</sup>, Kouamé Victor KOUAME<sup>2</sup>, Konan Marcel YAO<sup>1</sup>, Boua Celestin ATSE<sup>3</sup>, Albert TROKOUREY<sup>1</sup> et Abiba Sanogo TIDOU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université Félix Houphouët Boigny, Laboratoire de Chimie Physique, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

<sup>2</sup> *Université Nangui Abrogoua (UNA), UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

<sup>3</sup> *Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

\* Correspondance, courriel : [yaobakpa@yahoo.fr](mailto:yaobakpa@yahoo.fr)

### **Résumé**

L'action néfaste de certains pesticides sur l'environnement et les organismes aquatiques après leur usage dans les activités agricoles, s'observe dans tous les pays. Cette étude, menée de février 2014 à janvier 2015, porte sur l'évaluation des niveaux de contamination, la répartition des pesticides dans les stations et le statut écologique des sédiments. Les analyses ont été effectuées par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (CPG/SM) après purification par chromatographie d'adsorption sur cartouche au florisil précédée par l'Extraction par Solvant Accélérée (ASE). Les quatorze (14) pesticides détectés appartiennent à la famille chimique des triazines, des urées substituées, des carbamates, des convulsivants, des organophosphorés et des organochlorés. L'Analyse en Composante Principale (ACP) a indiqué que Taboth (secteur IV) Mopoyem et Gboubo (secteur V) sont les stations les plus contaminées avec la valeur la plus élevée pour la simazine 5203,66 µg / kg à Taboth. La majorité des pesticides quantifiés sont supérieurs aux Normes de Qualité Environnementale (NQE) recommandées par la Communauté internationale. Les sédiments de notre zone d'étude ont un mauvais statut écologique.

**Mots-clés :** *lagune Ebrié, sédiments, pesticides, stations, contamination.*

### **Abstract**

**Contamination, distribution and evaluation of ecological hazards by pesticides in the sediments of lagoon Ebrié, Côte d'Ivoire**

Chemical pesticides using in agriculture activities in countries have a impact on environment and aquatic organisms. This study assessed the contamination levels, distribution and ecology risk of pesticides in sediments collected in IV and V sectors of the Ebrié lagoon from february 2014 to january 2015. Samples were analyzed by the gas chromatography coupled to a mass spectrometer (GC/MS), after Accelerated Solvent Extraction (ASE) and florisil cartridge adsorption chromatography. Fourteen (14) pesticides belong chemical family of triazines, substituted ureas, carbamates, convulsivants, organophosphates and organochlorines were detected. The PCA showed that Taboth (IV sector) Mopoyem and Gboubo (V sector) were the most contaminated stations with the highest level for simazine 5203.66 µg/kg at Taboth. The majority of the quantified pesticides are above the Environmental Quality Standards (EQS) recommended by international community. Sediments in our study area have poor ecological status.

**Keywords :** *Ebrie lagoon, sediment, pesticides, stations, contamination.*

## 1. Introduction

Dans la seconde moitié du XXe siècle, l'utilisation de pesticides chimiques s'est développée dans le monde entier pour lutter contre les vecteurs de grandes maladies endémiques des grandes cultures [1, 2]. Les familles chimiques des pesticides tels que les urées substituées, les triazines, les organochlorés, les pyréthrinoïdes, les organophosphorés, etc., se retrouvent dans les organismes aquatiques. Certains d'entre eux ont des propriétés toxiques, même lorsqu'elles sont présentes dans l'environnement à de très faibles concentrations [3]. Leur épandage dans l'environnement par les pulvérisations ou les précipitations, affectent ainsi les organismes non ciblés et provoquent un déséquilibre dans l'ensemble de l'écosystème. Les effets des pesticides sur la santé suscitent de plus en plus des inquiétudes au sein de la communauté internationale. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) indique qu'environ 3 millions de cas d'empoisonnement par des pesticides sont signalés chaque année, entraînant la mort de 250 000 personnes dans le monde [4, 5]. 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 dont ils sont les polluants majeurs. La qualité de l'eau et sédiments de la lagune Ebrié est fortement influencée par les activités anthropiques des populations riveraines. Cet écosystème reçoit la grande partie des eaux usées issues des rejets domestiques, agro-industriels [6, 7], et les activités de pêche utilisant les pesticides [8, 9]. Une étude récente a montré que les sédiments de la lagune Ebrié de la baie d'Akouedo sont fortement contaminés par les pesticides tels que l'aldicarbe et la crimidine [10]. Les secteurs IV et V de la lagune Ebrié, ont enregistré en 2013 d'importantes mortalités de poissons. Ces mortalités massives de poissons désormais récurrentes dans ces deux secteurs portent préjudice à la population riveraine fortement dépendante des ressources halieutiques. Malheureusement, il n'existe pas de données actualisées sur le niveau de contamination des sédiments par les pesticides dans lesdits secteurs. La présente étude a pour objectifs d'évaluer les niveaux de contamination, la distribution des sédiments par station et les risques écologiques des pesticides dans les sédiments des secteurs IV et V de la lagune Ebrié. L'intérêt de celle-ci est de fournir des données récentes sur les teneurs des pesticides dans les sédiments, pour une gestion durable des eaux de notre zone d'étude.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

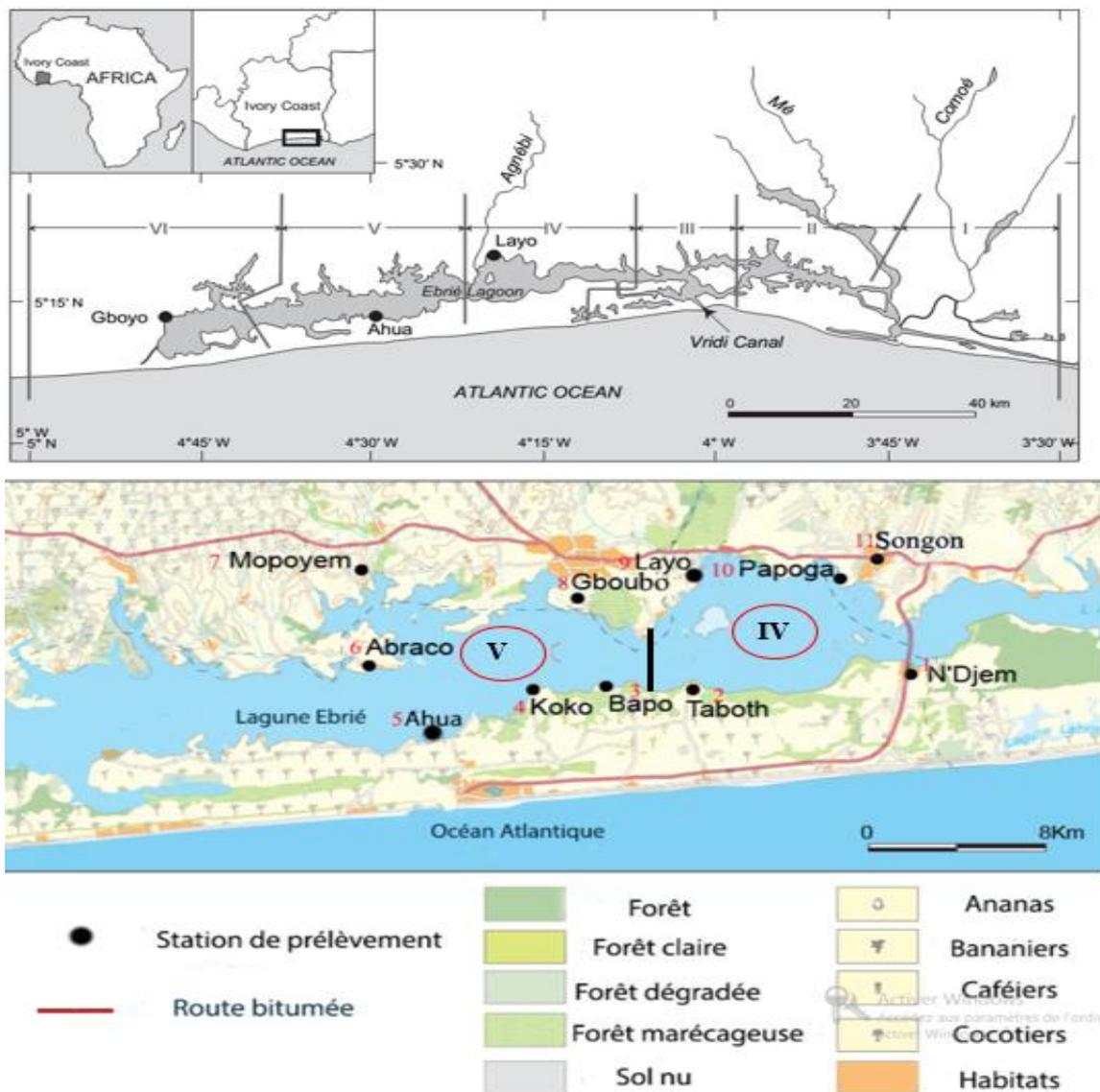
La lagune Ebrié s'étend sur 130 km le long du littoral. Sa largeur ne dépasse pas 7 km et sa profondeur moyenne est de 4,8 m avec quelques mares profondes de plus de 20 m dans la zone urbaine d'Abidjan [11]. D'après des données hydrologiques, la lagune Ebrié a été divisée en six secteurs [12]. Notre 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 Jacqueville et de Dabou. Les activités agricoles, industrielles et de pêche y sont pratiquées dans ces zones. Onze sites d'échantillonnage ont été sélectionnés, répartis le long de ces deux secteurs de la lagune Ebrié en fonction de l'ampleur de la mortalité des poissons enregistrée (*Figure 1*).

### 2-2. Campagne d'échantillonnage

Des échantillons de sédiments ont été collectés mensuellement dans les secteurs IV et V de février 2014 à janvier 2015. Cinq stations ont été sélectionnées dans le secteur IV, notamment Songon, N'Djem, Papoga, Taboth et Layo. Six stations du secteur V ont été sélectionnées, ce sont : Bapo, Koko, Ahua, Abraco, Mopoyem et Gboubo, (*Figure 1*). Des échantillons de sédiments ( $n = 132$ ) ont été recueillis à l'aide d'un collecteur Van Veen en acier inoxydable à la jonction des sédiments dans une profondeur allant jusqu'à 5 cm selon les méthodes de référence pour les études sur la pollution marine [13] et placés dans des sacs stomacher. Tous les échantillons ont été conservés au froid (4 °C) dans un refroidisseur à l'abri de la lumière pour être analysés au laboratoire.

**2-3. Analyse chimique**

L'extraction des sédiments a été réalisée sur la fraction  $\Phi < 0,63 \mu\text{m}$  par la technique d'extraction accélérée par solvant (ASE) [14, 15]. La purification a été réalisée par chromatographie d'adsorption sur cartouche au florisil. 10 g de sédiments préalablement séchés et broyés sont extraits avec de l'hexane / dichlorométhane (50/50, v/v) [14] sous une pression de 100 bars dans les deux phases 50 °C et 100 °C. Les extraits ont été réduits à un volume de 3 ml entre 40 et 50 °C par un évaporateur rotatif et purifiés par chromatographie d'adsorption sur cartouche au florisil pour éliminer les extraits [15]. Les éluats sont évaporés séparément entre 40 et 50 °C à 2 mL pour être analysés au CPG/SM. La détermination des pesticides a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution couplée à un spectromètre de masse (CPG/SM) avec colonne capillaire HP - 5MS : longueur 30 m, diamètre interne: 0,25 mm, épaisseur du film: 0,25  $\mu\text{m}$ . L'hélium est utilisé comme gaz éluant (pureté > 99,99 %) à un débit de 1 mL.min<sup>-1</sup> [16] La température de l'injecteur était de 250 °C et les échantillons ont été injectés en mode splitless. La limite de détection des pesticides était de 6 ng/kg.

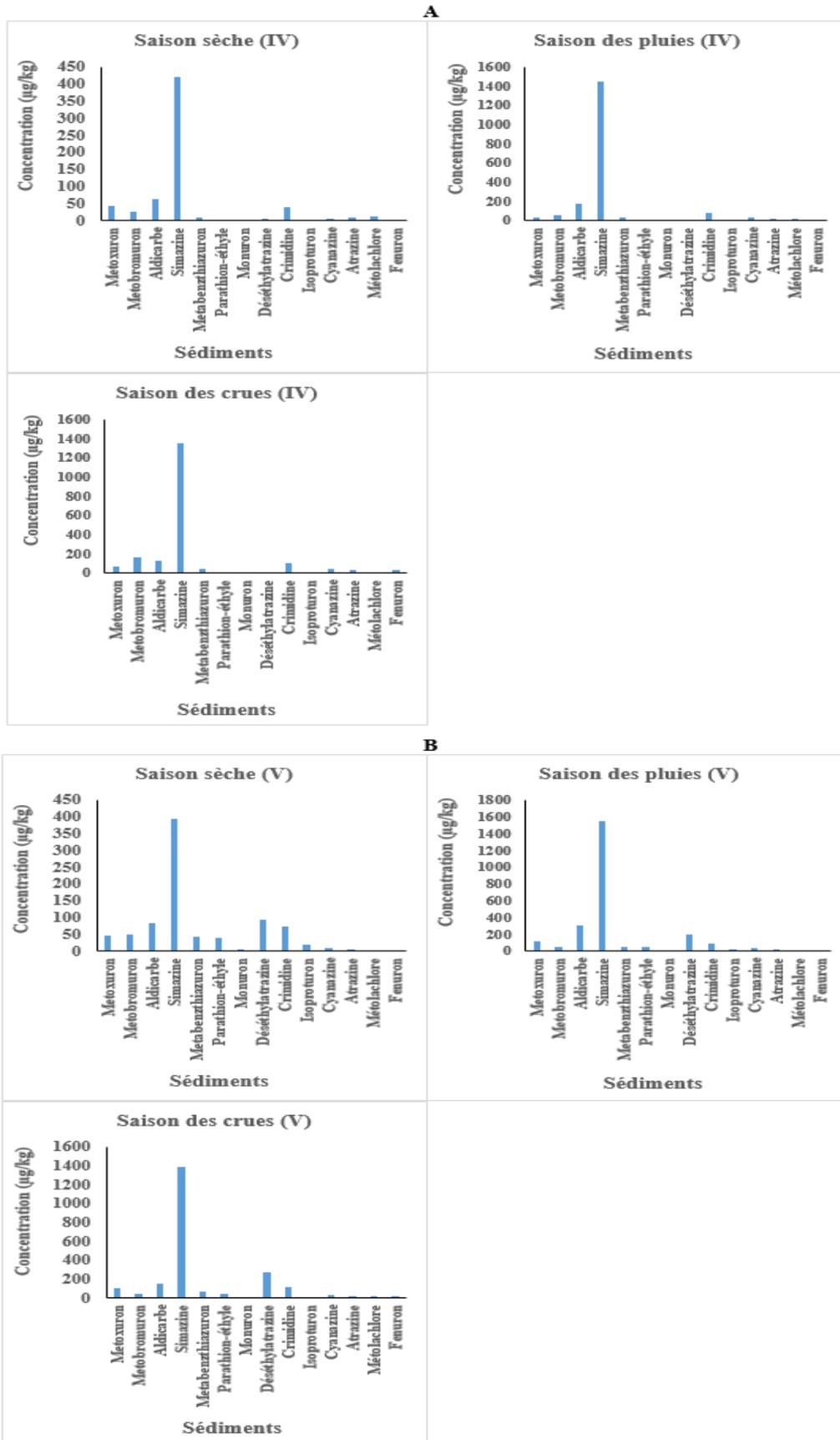


**Figure 1 :** Emplacement des sites d'échantillonnage dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié Stations d'échantillonnage (1 N'djem, 2 Taboth, 3 Bapo, 4 Koko, 5 Ahua, 6 Abraco, 7 Mopoyem, 8 Gboubou, 9 Layo, 10 Papoga, 11 Songon)

### 3. Résultats

Les calculs ont été réalisés avec les logiciels Statistica 7.1 et Excel 2013. Les quatorze pesticides obtenus et leurs familles chimiques correspondantes sont représentés dans le **Tableau 1**. Les urées substituées sont les plus nombreuses avec six matières actives. Les triazines avec quatre matières actives viennent en deuxième position. Les carbamates convulsivants, organophosphorés et organochlorés sont présents chacun avec une seule matière active. Les **Figures 2A** et **2B** indiquent les profils des variations saisonnières des matières actives des secteurs IV et V de la lagune Ebrié. Ceux-ci montrent que les concentrations de la simazine, le métoxuron, le métobromuron et la crimidine ont varié considérablement entre les différentes saisons dans les deux secteurs. Par exemple, dans les secteurs IV et V, les concentrations de la simazine étaient supérieures à 1200 µg/kg pendant les saisons des pluies et des crues et voisines de 400 µg/kg en saison sèche. Les valeurs annuelles des concentrations des matières actives par station des secteurs IV et V sont représentées dans les **Tableaux 2A et 2B**. Ces valeurs oscillent de nd à  $5203,66 \pm 2811,79$  µg/kg pour le secteur IV et elles varient de nd à  $3785,66 \pm 2205,09$  µg/kg dans le secteur V. la valeur annuelle des concentrations par station la plus élevée appartient au secteur IV. Les concentrations moyennes des pesticides trouvés dans les sédiments durant la campagne d'échantillonnage avec leur fréquence de détection sont consignées dans les **Tableaux 3A et 3B**. Celles-ci sont comprises de nd à  $1071,08 \pm 2388,48$  µg/kg et de  $1108,30 \pm 1848,25$  µg/kg respectivement dans les secteurs IV et V. la simazine a été détectée à toutes les stations durant la période d'échantillonnage (100 % de fréquence de détection) avec les valeurs moyennes les plus élevées.

Le métolachlore, le seul organochloré de cette campagne, a été décelé avec des teneurs de 13,20 µg/kg et 9,83 µg/kg respectivement dans les secteurs IV et V. Le parathion-éthyl (seul organophosphoré) et l'isoproturon n'ont pas été quantifiés dans le secteur IV. L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour examiner la corrélation entre les variables et a permis également de classer les stations. Le facteur F1 contribue à 43,00 % de l'inertie et le facteur F2 contribue à 17,14 %. Les deux facteurs F1 et F2 donnent une contribution totale à l'information de 60,14 %. Le facteur F1 est défini du côté positif par la simazine, le métoxuron, la crimidine, l'aldicarbe, le parathion-éthyl et l'isoproturon. Le facteur F2 est spécifié par le déséthylatrazine du côté positif et par le métolachlore, l'atrazine, le fénuron du côté négatif. Le graphique des stations à sédiments (**Figure 3b**) a mis en évidence trois groupes (I, II et III). Le groupe I précisé par Taboth, Mopoyem et Gboubo est caractérisé par les valeurs les plus élevées de métoxuron, crimidine, aldicarbe, parathion-éthyl, métolachlore, isoproturon et simazine. Le groupe II défini par Bapo, Abraco, Ahua, N'djem et Papoga se caractérise par les valeurs les plus élevées de déséthylatrazine, de métabenzthiazuron et de monuron. Enfin, le composé du groupe III composé de Songon, Koko et Layo se caractérise par des teneurs les plus élevées de fénuron, d'atrazine et de cyanazine. Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) des sédiments fournies par la communauté internationale [17, 18] sont présentées dans le **Tableau 4**. A ce jour, les NQE de nombreux pesticides n'ont pas encore été déterminées.



**Figure 2 :** Variations saisonnières des concentrations des matières actives dans les sédiments (A = secteur IV, B = secteur V)

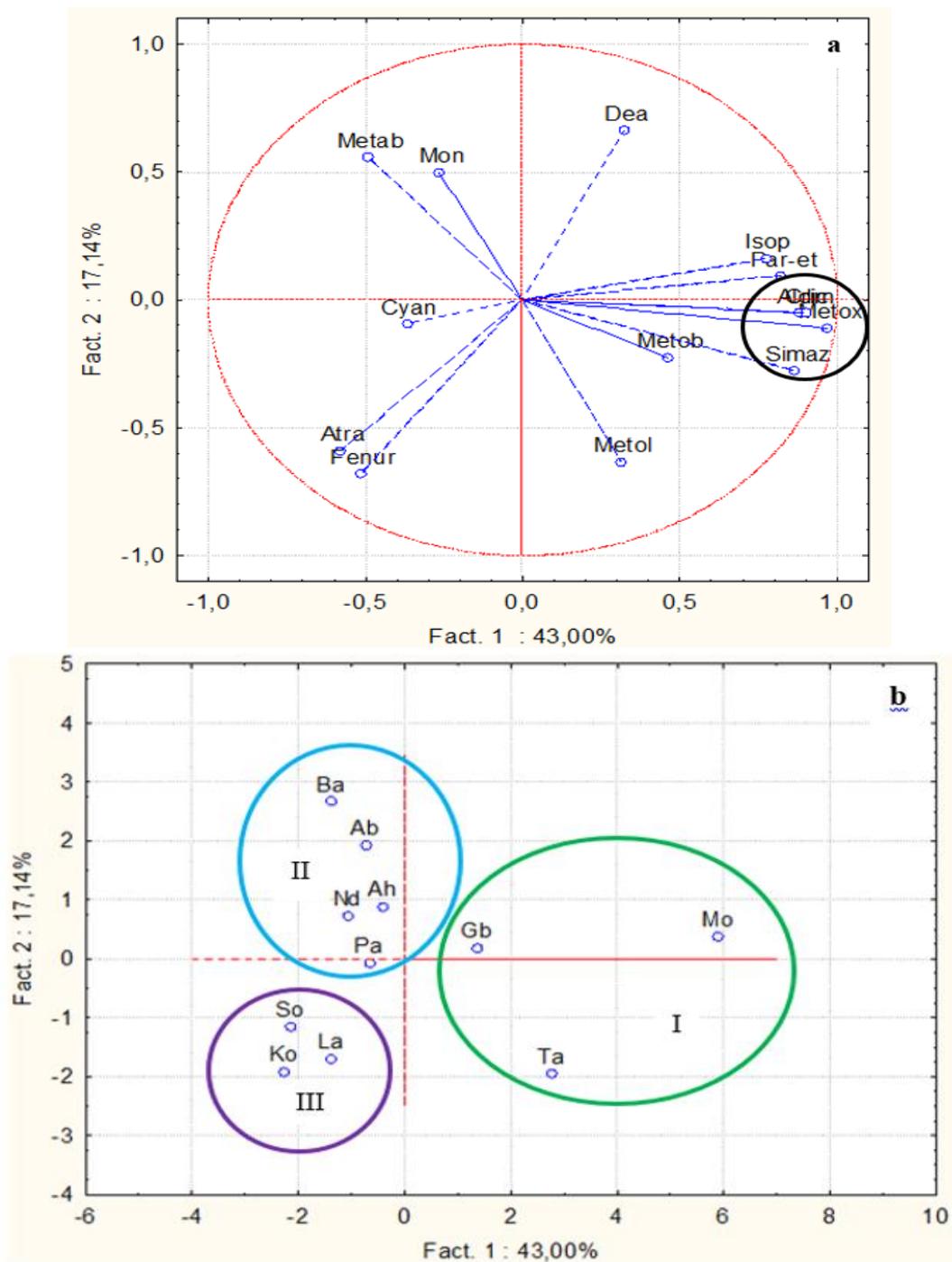
**Tableau 1 : Les familles chimiques et matières actives**

Familles chimiques	Matières actives
Urées Substituées	Métoxuron (Metox) Métobromuron (Metob) Métabenzthiazuron (Metab) Monuron (Mon) Isoproturon (Isop) Fénuron (Fénur)
Triazines	Simazine (Simaz) Atrazine (Atra) Déséthylatrazine (Dea) Cyanazine (Cyan)
Organochlorés	Métolachlore (Metol)
Carbamate	Aldicarbe (Ald)
Organophosphoré	parathion-éthyl (Par-et)
Convulsivant	Crimidine (Crim)

**Tableau 2 : Valeurs annuelles des pesticides détectées par station dans les sédiments ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) des secteurs IV et V (secteurs 2A : IV et 2B : V)**

	Secteur IV			2A	
	Songon	N'djem	Papoga	Taboth	Layo
Metox	2,66 ± 2,08	2,33 ± 2,30	7,33 ± 2,08	189,33 ± 55,64	26,33 ± 43,03
Metob	nd	0,66 ± 1,15	203,33 ± 104,00	46,00 ± 46,50	157,33 ± 272,50
Ald	1,66 ± 2,88	81,00 ± 5,56	nd	521,00 ± 265,63	0,66 ± 1,15
Simaz	55,66 ± 28,72	70,00 ± 29,46	16,40 ± 13,75	5203,66 ± 2811,79	9,66 ± 10,59
Metab	46,33 ± 32,00	56,86 ± 39,61	28,33 ± 21,19	nd	nd
Par-et	nd	nd	nd	nd	nd
Mon	5,00 ± 4,58	4,66 ± 8,08	nd	nd	nd
Dea	14,00 ± 12,12	20,66 ± 19,03	5,33 ± 4,04	nd	0,66 ± 0,57
Crim	40,33 ± 5,77	40,00 ± 7,21	22,33 ± 38,68	235,66 ± 107,96	14,66 ± 25,40
Isop	nd	nd	nd	nd	nd
Cyan	52,66 ± 43,01	33,33 ± 28,86	24,00 ± 14,42	nd	15,33 ± 7,50
Atra	35,00 ± 30,41	7,66 ± 4,04	8,33 ± 1,15	18,00 ± 0,00	38,66 ± 46,18
Metol	10,00 ± 10,00	3,00 ± 5,19	nd	53,00 ± 0,00	nd
Fenur	33,33 ± 30,55	nd	5,00 ± 3,60	0,33 ± 0,57	32,33 ± 50,00

	<b>Secteur V</b>					<b>2B</b>
	<b>Bapo</b>	<b>Koko</b>	<b>Ahua</b>	<b>Abraco</b>	<b>Mopoyem</b>	<b>Gboubo</b>
Metox	0,33 ± 0,57	0,66 ± 0,57	12,33 ± 7,50	14,33 ± 5,03	397,33 ± 142,21	103,83 ± 86,26
Metob	nd	nd	nd	nd	166,66 ± 64,78	120,33 ± 80,40
Ald	164,66 ± 108,56	nd	25,66 ± 14,29	48,83 ± 22,26	475,00 ± 304,65	370,00 ± 434,27
Simaz	15,13 ± 6,81	8,66 ± 0,57	60,66 ± 8,08	38,66 ± 45,00	3785,66 ± 2205,09	2741,00 ± 1565,94
Metab	160,00 ± 69,28	71,00 ± 8,66	0,66 ± 1,15	73,66 ± 11,54	nd	15,33 ± 9,07
Par-et	nd	nd	nd	nd	163,33 ± 61,19	92,66 ± 84,99
Mon	34,33 ± 9,23	6,67 ± 5,77	nd	nd	nd	8,66 ± 12,50
Dea	149,33 ± 64,25	26,33 ± 7,37	183,00 ± 57,23	411,33 ± 156,07	289,33 ± 240,73	60,33 ± 52,25
Crim	65,00 ± 41,79	19,66 ± 10,50	56,33 ± 28,02	52,00 ± 32,04	342,66 ± 49,65	22,00 ± 19,28
Isop	4,33 ± 3,51	3,33 ± 4,93	8,66 ± 5,50	5,33 ± 5,03	62,33 ± 52,53	0,66 ± 1,15
Cyan	2,00 ± 3,46	43,33 ± 46,23	28,33 ± 24,11	41,00 ± 17,34	27,66 ± 21,93	nd
Atra	22,00 ± 17,32	46,66 ± 41,63	3,00 ± 5,19	10,33 ± 11,06	nd	11,66 ± 17,67
Metol	nd	40,00 ± 40,00	0,33 ± 0,57	nd	18,66 ± 11,54	nd
Fenur	nd	38,66 ± 34,42	1,00 ± 1,00	nd	nd	4,33 ± 4,50



**Figure 3 :** ACP pour les facteurs 1 et 2 des matières actives des pesticides présents dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié dans les sédiments (a: cercle de corrélation des variables b : représentation des stations)

**Tableau 3 :** Valeurs moyennes ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) écart type ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), fréquence (%) des pesticides dans les sédiments 3A (secteur IV) et 3B (secteur V)

	Secteur IV		3A
	Moyenne	Ecart-type	Fréquence
Métoxuron	45,60	79,53	93,33
Métobromuron	81,46	141,31	53,33
Aldicarbe	120,86	232,39	53,33
Simazine	1071,08	2388,48	100
Métabenzthiazuron	26,30	31,91	60
Parathion-éthyl	nd	-	-
Monuron	1,93	4,28	20
Déséthylatrazine	8,13	11,99	66,67
Crimidine	70,60	96,89	73,33
Isoproturon	nd	-	-
Cyanazine	25,06	27,46	73,33
Atrazine	21,53	24,94	93,33
Métolachlore	13,20	21,37	40
Fenuron	14,20	27,27	60

	Secteur V		3B
	Moyenne	Ecart-type	Fréquence
Métoxuron	88,13	157,68	83,33
Métobromuron	47,83	79,30	33,33
Aldicarbe	180,69	263,25	83,33
Simazine	1108,30	1848,25	100
Métabenzthiazuron	53,44	63,09	72,22
Parathion-éthyl	42,66	74,74	27,77
Monuron	8,27	13,74	38,88
Déséthylatrazine	186,61	171,03	94,44
Crimidine	92,94	119,48	94,44
Isoproturon	14,11	28,88	77,77
Cyanazine	23,72	26,88	66,66
Atrazine	15,61	23,44	55,55
Métolachlore	9,83	21,10	33,33
Fenuron	7,33	18,77	33,33

**Tableau 4 : Norme de Qualité Environnementale (NQE)**

Pesticide	NQE ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Reference
Aldicarbe	1	(CANADIAN, 2007) [17]
Métolachlore	7,8	[17]
Cyanazine	2	[17]
Parathion – éthyl	0,008	[17]
Isoproturon	1	(DIRECTIVE, 2013) [18]
Atrazine	2	[18]
Simazine	4	[18]
Fenuron	-	-
Crimidine	-	-
Métoxuron	-	-
Métabenzthiazuron	-	-
Métobromuron	-	-
Monuron	-	-
Déséthylatrazine	-	-

#### 4. Discussion

Les pesticides utilisés dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié appartiennent principalement aux familles chimiques des triazines et des urées substituées. Ces deux familles chimiques sont classées dans la famille biologique des herbicides. La forte présence des herbicides dans nos secteurs d'étude s'explique par le fait qu'en Côte d'Ivoire, les herbicides sont très utilisés dans les cultures vivrières alors que les insecticides sont utilisés dans le coton [19]. Les familles chimiques les moins détectées sont les organophosphorés et les organochlorés. Les organochlorés traditionnels (insecticides) redoutés (DDT et ses métabolites, lindane, HCH et leurs isomères respectifs etc.) non pas été décelés durant cette étude. Cela confirme, que les populations des secteurs IV et V ont une préférence pour les herbicides. Au cours de cette campagne, les carbamates et les convulsivants ont été retrouvés dans les sédiments. Cette variété de familles chimiques s'expliquerait par la présence de plantations industrielles et les activités anthropiques effectuées dans cette région. En effet, ADINGRA et *al.*, (2011) ont signalé que la majorité des plantations industrielles situées dans la zone côtière utilisaient de grandes quantités d'engrais et de produits phytosanitaires de différentes familles chimiques [20]. En outre, certains pesticides sont directement utilisés dans les activités de pêche [21, 22]. Les variations saisonnières des familles chimiques dans les sédiments nous présentent des concentrations moyennes plus élevées en saison des pluies et des crues qu'en saison sèche. Cela se justifie par le fait que les contaminations de l'eau par les pesticides, dans notre zone d'étude, se font par le biais des eaux de ruissellement des pluies, par les apports d'eaux de l'agney, de la Comoé et de l'océan Atlantique à travers le canal de Vridi [23]. En effet, une fois pulvérisés, les pesticides peuvent se retrouver dans l'environnement aquatique sous l'action des eaux de pluie qui lessivent les matières actives à faible coefficient de partage ( $\log K_{oc} < 3$ ) épandues dans les plantations [20] vers les différents cours d'eau. Nous observons que, les coefficients de partage des quatorze matières actives obtenues dans cette étude, sont tous inférieurs à 3. Ainsi, leur présence dans les sédiments des secteurs IV et V de la lagune Ebrié, pourrait être due à une lessivage des terres agricoles via les eaux de ruissellement. En effet, Loewy et *al.*, (2011) dans une étude en Argentine, ont montré que l'application de pesticides dans les plantations agricoles par pulvérisation, était une voie importante pour la migration de ceux-ci dans les eaux de surface [24]. Idem pour Ouattara et *al.*, (2012) qui dans une étude similaire ont démontré que l'utilisation abusive des produits phytosanitaires dans

l'agriculture les conduit au milieu aquatique par le ruissellement et le lessivage des terres agricoles [25]. L'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée dans ce travail pour classer les stations. L'ACP a identifié trois groupes. Le groupe I (Taboth, Gboubo et Mopoyem), influencé par les rivières et les eaux de pluie, contient des stations fortement polluées par la simazine, le métoxuron, l'aldicarbe et la crimidine pendant la saison des pluies et des crues. Ces composés se retrouvent sur l'axe principal (F1). Cet axe est considéré comme l'axe de pollution [26]. Quatre matières actives sont fortement corrélées (**Figure 3a**). EL BAGHDADI et *al.*, (2015), dans une étude conduite au Maroc, ont révélé que lorsque des micropolluants sont corrélés, cela signifie qu'ils ont la même affinité [27]. Ainsi, ils seraient régis par le même mécanisme. Ce mécanisme peut être une adsorption qui permet leur rétention sur la matière organique (sédiments). GNONSORO et *al.*, (2016), dans une étude récente menée à proximité du site de décharge municipale d'Akouedo (Abidjan, Côte d'Ivoire) ont trouvé que l'aldicarbe et la crimidine avaient enregistré des valeurs élevées dans les sédiments (26 440 µg/kg et 45 286 µg/kg) [10]. Ce résultat démontre que la simazine, le métoxuron, l'aldicarbe et la crimidine sont liés par le même mécanisme d'adsorption sur les sédiments. Le groupe II (Ahua, Bapo, N'djem, Abraco et Papoga) contient des polluants légers, à savoir le monuron, le métabenzthiazuron et le déséthylatrazine, d'une valeur moyenne < 420 µg/kg. Le groupe III (Songon, Koko et Layo) contient l'atrazine et le fenuron de valeurs moyennes < 40 µg/kg. Les stations les plus contaminées suivent l'ordre groupe I > groupe II > groupe III. En outre, l'ACP a révélé que les stations les plus polluées dans les secteurs IV et V étaient Taboth (secteur IV), Gboubo et Mopoyem (secteur V). Ce résultat pourrait s'expliquer par leur localisation dans la forêt caractérisée par une agriculture intensive utilisant des pesticides à outrance de manière non professionnelle. D'autre part, le résultat fourni par l'ACP suggère que les eaux du secteur V sont plus polluées que celles du secteur IV.

Cette situation s'expliquerait par le fait que le secteur IV avec les apports d'eaux d'Agneby et de l'océan atlantique est un milieu constamment renouvelé et dilué par rapport au secteur V qui est essentiellement approvisionné par les eaux de ruissellement issues des terres agricoles. La présence des matières actives telles que la simazine, l'atrazine, le déséthylatrazine, etc. interdites en Europe en raison de leur toxicité et homologuées en Côte d'Ivoire [28], suscite des inquiétudes. Par ailleurs, certains pesticides ne figurant pas sur la liste des pesticides autorisés en Côte d'Ivoire se retrouvent dans les sédiments de notre zone d'étude [29]. Cette situation met en exergue l'utilisation frauduleuse de ces substances chimiques [30]. Les gouvernants devraient mettre à jour la liste des pesticides homologués. Ils doivent également lutter contre les pratiques frauduleuses concernant les matières actives interdites utilisées dans les plantations et mettre un terme à leur commerce illégal. Les niveaux de concentration des pesticides trouvés au cours de cette campagne sont élevés. Les valeurs moyennes trouvées dans le secteur IV pour la crimidine 92,94 µg/kg et l'aldicarbe 120,86 µg/kg sont respectivement 6 et 111 fois supérieures à celles obtenues par Traoré A. et *al.*, (2015) dans une étude similaire menée dans la lagune d'Aghien [30]. Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) sont utilisées pour l'évaluation de l'état chimique et l'évaluation de l'état écologique. Dans cette étude, elles sont utilisées pour évaluer l'état écologique. Les concentrations de la majorité des pesticides quantifiés sont très supérieures aux NQE. La valeur moyenne la plus élevée de cette campagne 1108,30 µg/kg (secteur V) obtenue pour la simazine est 277 fois supérieure à la NQE fixée à 4 µg/kg. La concentration du métolachlore 13,20 µg/kg (secteur IV), l'une des concentrations les plus faibles de cette étude, est 1,7 fois plus grande que la NQE fixée à 7,8 µg/kg. Tous ces résultats suggèrent que les sédiments de la lagune Ebrié dans les secteurs IV et V ont un mauvais état écologique. Une évaluation de l'impact de ce mauvais état écologique des sédiments sur les ressources halieutiques et l'Homme dans notre zone d'étude et une gestion durable des eaux des secteurs IV et V s'avèrent nécessaire.

## 5. Conclusion

Les activités agricoles et industrielles menées dans les secteurs IV et V de la lagune Ebrié rejettent beaucoup de pesticides dans l'eau et les sédiments via les eaux de ruissellement. Les quatorze matières actives obtenues appartiennent aux familles chimiques des triazines, urées substituées, carbamates, convulsivants, organophosphorés et organochlorés. Les niveaux de contamination sont très élevés pour des matières actives telles que la simazine, le métoxuron, l'aldicarbe et la crimidine. Les stations de Taboth (secteur IV) Mopoyem et Gboubo (secteur V) ont été identifiées comme les plus contaminées. Certaines matières actives sont utilisées de façon frauduleuse dans notre zone d'étude. Les concentrations de la majorité des pesticides quantifiés sont très supérieures aux Normes de Qualité Environnementale (NQE). Les sédiments des secteurs IV et V de la lagune Ebrié ont donc un mauvais état écologique. Une gestion durable des eaux de la lagune Ebrié de notre zone d'étude s'avère nécessaire.

### Remerciements

*Nous adressons nos sincères remerciements au FIRCA pour son soutien financier et aux pêcheurs pour leur collaboration.*

### Références

- [1] - C. DEJOUX, La pollution des eaux continentales africaines. Expérience acquise. Situation actuelle et perspectives. Paris, *Orstom*, Travaux et documents, 213 (1988) 514 p.
- [2] - C. LEVEQUE, D. PAUGY, G. G. TEUGELS, R. ROMAND, Inventaire taxonomique et distribution des poissons d'eau douce des bassins côtiers de Guinée et de Guinée-Bissau. *Rev. Hydrobiol. trop.*, N° 22 (1989) 107 - 127 p.
- [3] - C. LEVEQUE, Introduction générale : Diversité biologique des poissons africains. In: Diversité biologique des Poissons des Eaux douces et saumâtres d'Afrique (Teugels G.G., Guegan J.F, & J.J. Albaret, eds). *Ann. Mus. Revue. Africaine. Centr.*, Vol. 275, (1994) 7 - 16 p.
- [4] - O. B. ADEDEJI and R. OKOCHA, *Overview of Pesticide Toxicity in Fish Advances in Environmental Biology*, 6 (8) (2012) 2344 - 2351
- [5] - WHO, Our planet our Health: Report of the WHO Commission on the Health and Environment, World Health Organization, Geneva, (2015)
- [6] - A. S. COULIBALY, S. MONDE, A. V. WOGNIN & K. AKA, Dynamique des éléments traces métalliques dans les sédiments des baies d'Abidjan (baie du banco et rade portuaire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 46, (2010) 204 - 215 p.
- [7] - D. B. SORO, D. L. KOUADIO, K. N. ABOUA, M. DIARRA, L. MEITE et K. S. TRAORE, Dégradation photocatalytique du thiabendazole en solution aqueuse. *Afrique Science*, 14 (4) (2018) 55 - 63 <http://www.afriquescience.info>
- [8] - Foxtrot, *Etude d'impact environnemental et social*. Rapport final, (2012) 20 - 93 p.
- [9] - K. L ATTA, T. GOGBE, et A. A MOUSSOH, La problématique de l'approvisionnement vivrier d'une ville secondaire dans le cadre des relations ville-campagne en pays Adioukrou : Dabou. *European scientific journal*, 10 (17) (2014) 393 - 307
- [10] - U. P. GNONSORO, K. M. YAO, B. L. YAO, N. L. KOUASSI, B. A. DEMBELE, S. B. METONGO, A. M. KOUASSI et A. TROKOUREY, Aldicarbe et crimidine dans les eaux et les sédiments aux alentours de la décharge municipale d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire) : niveaux et fréquences de contamination. *International Journal Biological Chemical Science*, 10 (1) (2016) 400 - 411

- [11] - J. R. DURAND & D. GUIRAL, Hydroclimatet hydrochimie. In : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires, (Durand J-R., Dufour P., Guiral D. et Zabi S. eds), Editions ORSTOM, (1994) 129 - 136 p.
- [12] - P. DUFOUR, J. LEMOALLE & J-J. ALBARET, Le système Ebrié dans les typologies lagunaires. In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires, (Durand J-R., Dufour P., Guiral D. et Zabi S. Eds). Editions ORSTOM, (1994) 17 - 24 p.
- [13] - UNEP, *Manuel d'échantillonnage et d'analyse des Sédiments*. UNEP (DEPI)/MEDWG.321/Inf.4, (2007) 26 p.
- [14] - 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*, N° 33 (1999) 3245 - 3253 p.
- [15] - D. DEVAULT, G. MERLINA, P. LIM, Multi-residues analysis of pre-emergence herbicides in fluvial sediments: application to the Mid-Garonne river. *Journal of Environmental Monitoring*, N° 9 (2007) 1009 - 1017 p.
- [16] - F. MURCIA, K. LE MENACH, P. PARDON, S. AUGAGNEUR, N. ARMSTRONG, N. TAPIE, I. AUBY, H. BUDZINSKI, Approche multirésidus pour le suivi des pesticides dans différents compartiments (eau, sédiment, huîtres) de l'environnement aquatique du bassin d'Arcachon Laboratoire IFREMER DEL/AR Quai du commandant Silhouette, 33120 Arcachon, France Université de Bordeaux 1, (2010)
- [17] - CANADIAN COUNCIL of MINISTERS of the ENVIRONMENT, a Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life : Summary Table, Updated December, 2007. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, (2007)
- [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, (2013) 12 - 226 p.
- [19] - G. FLEISCHER, V. ANDOLI, M. COULIBALY, T. RANDOLPH, Analyse socio-économique de la filière des pesticides en Côte d'Ivoire. Hanovre/Abidjan, Série de Publication N° 06/F, (1998)
- [20] - A. A. ADINGRA, et A. M. KOUASSI, Pollution en lagune Ebrié et ses impacts sur l'environnement et les populations riveraines. *F. Tech. & Doc. Vulg.*, (2011) 48 - 53 p.
- [21] - J. K. LEISS, D. A. SAVITZ, Horne pesticide use and child hood Cancer: a case control study. *Am J Public Health*, 85 (1995) 249 - 253
- [22] - C. LEVEQUE et D. PAUGY, Impacts des activités humaines in Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisation par l'homme. p.396-413IRD Éditions Institut de Recherche pour le Développement Paris, (2006)
- [23] - F. VARLET, Le régime de la lagune Ébrié, Côte-d'Ivoire. *Traits physiques essentiels*. Paris, Trav. Doc. Orstom, 83 (1978) 162 p.
- [24] - R. M. LOEWY, L. B. MONZA, V. E. KIRS, and M C SAVINI, Pesticide distribution in an agricultural environment in Argentina. ) *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, Vol. 46, (2011) 662 - 670 p.
- [25] - Y. OUATTARA, I. GUIGUEMDE, F. DIENDERE, J. DIARRA, A. BARY, Pollution des eaux dans le bassin du nakambe : cas du barrage de Ziga. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (6) (2012) 8034 - 8050
- [26] - A. D. DIALLO, K. IBNO NAMR, A. D. N'DIAYE, H. GARMES, M. KANKOU, O. WANE, L'intérêt des méthodes d'analyses statistique dans la gestion du suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. *Larhyss Journal*, N° 17 (2014) 101 - 114 p.
- [27] - EL BAGHDADI, H. OUMESKOU, A. BARAKAT, S. NADEM, J. J. RAIS, Effet de la Décharge publique de la ville de Béni-Mellal sur les Sédiments et les Sols au niveau d'Oued Sabeq Mater. *Environ. Sci.*, 6 (11) (2015) 3371 - 3381
- [28] - MINISTERE DE L'AGRICULTURE COTE D'IVOIRE ; Direction Générale et de la Protection Alimentaire, Direction de la Protection des Végétaux ; du Contrôle et de la Qualité. Document consulté le 5 février 2017
- [29] - ISYSPHYT, Liste actualisée des Pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire, 46p, (2012) document consulté sur le site [www.isysphyt.ci](http://www.isysphyt.ci) le 21/03/2015
- [30] - A. TRAORE, K. E. AHOUSI, N. AKA, A. TRAORE et N. SORO, Niveau de Contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). In *Int. J. Pure App. Biosci.*, Vol. 3, N° 4 (2015) 312 - 322 p.