



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE  
2019 - 2020

N° D'ORDRE :  
0334/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :  
CI 0415008594

LABORATOIRE :

Sciences et Technologies  
de l'Environnement

**MASTER**

**Physique - Chimie Appliquée**

**Option : Environnement**

THEME :

**EVALUATION DE LA CONTAMINATION  
MÉTALLIQUE (Hg, Pb, Cd, Cu) DE L'EAU ET  
LE SÉDIMENT D'ÉTANGS PISCICOLES**

Présenté par :

**N'GORAN KOUAME SALOMON**

JURY

**Président : M. KONAN Waidhet Arthur Brice, Maître de Conférence,**  
Université Jean Lorougnon Guédé

**Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférence,**  
Université Jean Lorougnon Guédé

**Encadreur : M AKESSE Djamatchè Paul Valéry, Maître-Assistant,**  
Université Jean Lorougnon Guédé

**Examineur : Mme KOFFI Akissi Lydie Chantal, Maître-Assistant,**  
Université Jean Lorougnon Guédé

Soutenu publiquement

Le 26/02/2021



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE  
2019 - 2020

N° D'ORDRE :  
0334/2021  
N° CARTE D'ETUDIANT :  
CI 0415008594

LABORATOIRE :  
Sciences et Technologies  
de l'Environnement

**MASTER**

**Physique - Chimie Appliquée**

**Option : Environnement**

**THEME :**

**EVALUATION DE LA CONTAMINATION  
MÉTALLIQUE (Hg, Pb, Cd, Cu) DE L'EAU ET  
LE SÉDIMENT D'ÉTANGS PISCICOLES**

Présenté par :

**N'GORAN KOUAME SALOMON**

**JURY**

**Président : M. KONAN Waidhet Arthur Brice, Maître de Conférence,  
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférence,  
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Encadreur : M AKESSE Djamatchè Paul Valéry, Maître-Assistant,  
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Examineur : Mme KOFFI Akissi Lydie Chantal, Maître-Assistant,  
Université Jean Lorougnon Guédé**

Soutenu publiquement

Le 26/02/2021

## DEDICACE

*Louange est à Dieu, Seigneur des mondes,  
Omniscient et Omnipotent. Nous lui  
Demandons de nous accroître en science.*

*Je dédie ce travail :*

*A celui qui m'a toujours encouragé et soutenu durant toutes mes  
années d'études. Merci pour ton amour et ta confiance totale.*

*<< A toi très cher Père N'goran Yao. Ce travail est le tien >>.*

*A celle qui m'a tant bercé, tant donné et tant enseigné, toi qui m'as  
guidé dans le bon chemin, toi qui m'as appris que rien n'est impossible.*

*<< A toi chère Maman Kouakou Affoué Madeleine. Ce travail est le  
fruit de tes efforts >>.*

*A mes sœurs : Naomie, Flore, Grace, Estelle*

*Mes frères : Elise, Elie, Josué, Daniel, Synfor, Moïse*

*Ma bien aimé : Kouadio Amenan Marie Flore*

## REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord **DIEU Tout Puissant** qui m'a permis de réaliser ce travail. Ce travail a été réalisé au Laboratoire des Sciences et Techniques pour l'Environnement de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Je traduis ici ma reconnaissance à tous ceux qui, par leurs contributions diverses ont permis la concrétisation de ce mémoire. Ainsi, j'adresse mes remerciements plus particulièrement :

- à Mme TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE, Professeur Titulaire et Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG) pour l'effort consenti dans le but d'améliorer les conditions de vie et d'étude des étudiants de ladite Université,
- à M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire et Directeur de l'UFR Environnement à l'UJLoG, pour le travail que vous abattez pour la réussite des étudiants. Sachez que vous êtes une source d'inspiration pour nous.
- à mon encadreur M. AKESSE Djamatchè Paul Valéry, Maître – Assistant à l'UJLoG pour la confiance accordée à ma personne, pour ses précieux conseils, sa disponibilité, ses conseils pratiques et ses soins apportés au mémoire. Qu'il en soit énormément remercié,
- aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous avoir honorées par leur présence le jour de la soutenance. Recevez l'expression de ma profonde gratitude ;
- à M. KOUAME Kouamé Victor, Maître – Assistant et Directeur de scolarité à l'UJLoG, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et ses soins apportés au mémoire,
- à monsieur Amani pour ses précieux conseils, sa disponibilité,
- à nos éminents enseignants qui ont eu comme toujours, le mérite de nous dispenser une formation de qualité. Particulièrement, un grand merci aux enseignants du Département Physique-Chimie-Mathématique-informatique pour leur rigueur dans le travail,
- à tous mes camarades de promotion, SORO Tenena Epiphan, M'BRA Kouassi Fulgence, AKPO Kouame Ange, KONAN Kouame Patrice, KOFFI Kouakou Pacome, OUATTARA Segbagbena Ibrahim, TIE Bi Emmanuel, pour leur collaboration, conseils et soutien pendant notre formation.
- à tous ceux dont les noms n'ont pu être cités, retrouvez dans ce mémoire l'amitié d'un collaborateur

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille, mes parents, frères et sœurs, qui ont joué évidemment un très grand rôle dans la réalisation de ce travail. Merci à ceux que je n'ai pas mentionnés leurs noms mais auxquels je pense très fort.

<b>TABLE DES MATIERES</b>		Pages
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS _____		IV
LISTE DES TABLEAUX _____		V
LISTE DES FIGURES _____		VI
LISTE DES PHOTOGRAPHIES _____		VIII
INTRODUCTION _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
1. DESCRIPTION D'UN ETANG PISCICOLE _____		3
1.1. Définition d'un étang _____		3
1.2. Caractéristique d'un étang _____		3
1.2.1. Critères généraux _____		3
1.2.2. Eléments d'un étang piscicole _____		3
1.2.3. Forme d'un étang _____		4
1.3. Types d'étangs piscicoles _____		4
1.4. Gestion d'un étang piscicole _____		5
1.4.1. Aménagement et entretien _____		5
1.4.2. Mode de fonctionnement _____		5
1.4.2.1. Phase de remplissage _____		6
1.4.2.2. Phase de production _____		6
1.4.2.3. Phase de vidange _____		6
1.4.2.4. Phase de l'assec _____		6
1.5. Cadre environnemental d'un étang a production piscicole _____		7
2. METAUX LOURDS ET BIODISPONIBITE _____		8
2.1. Métaux lourds _____		8
2.1.1. Définition _____		8
2.1.2. Types des métaux lourds _____		9
2.1.3. Propriétés physico-chimiques générales _____		9
2.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des métaux étudiés _____		10
2.1.4.1. Cadmium (Cd) _____		10

2.1.4.2.	Cuivre (Cu)	10
2.1.4.3.	Mercure (Hg)	11
2.1.4.4.	Plomb (Pb)	11
2.1.5.	Sources de contamination	12
2.1.5.1.	Sources naturelles	12
2.1.5.2.	Sources anthropiques	12
2.1.6.	Toxicité des métaux étudiés sur un écosystème	13
2.1.7.	Normes internationales des ETM dans les sédiments et dans le poisson	14
2.1.7.1.	Dans l'eau	14
2.1.7.2.	Dans les sédiments	14
2.2.	Biodisponibilité	15
2.2.1.	Définition	15
2.2.2.	Spéciation métallique en milieu aquatique	15
2.2.2.1.	Dans la colonne d'eau	15
2.2.2.2.	Dans le sédiment	16
2.2.3.	Modes de transfert métallique dans un écosystème aquatique	16
2.2.4.	Paramètres influençant le transfert des métaux	17
2.2.5.	Mode de contamination métallique des poissons dans un étang piscicole	17
2.2.6.	Indice de contamination	17
<b>PARTIE II : MATERIEL ET METHODES</b>		<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.	MATERIEL	19
1.1.	Localisation et caractérisation des étangs piscicoles	19
1.2.	Présentation du site d'étude	19
1.3.	Matrice d'étude	20
1.4.	Matériel d'échantillonnage et d'analyse	21
2.	METHODES	22
2.1.	Méthodes d'échantillonnage	22
2.1.1.	Eau	22
2.1.2.	Sédiment	22

2.2.	Méthodes de minéralisation et d'analyse	22
2.2.1.	Eau	22
2.2.2.	Sédiment	22
2.3.	Traitement statistique des données	23
<b>PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b>		<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.	RESULTATS	24
1.1.	Niveaux de concentration des métaux lourds des étangs piscicoles	24
1.1.1.	Dans l'eau	24
1.1.2.	Dans les sédiments	25
1.2.	Comparaison des concentrations avec les normes internationales	27
1.3.	Paramètres physico-chimiques du milieu des étangs piscicoles	27
1.4.	Evaluation de la bioaccumulation des polluants métalliques dans les poissons de l'étang	29
2.	DISCUSSION	29
<b>CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES</b>		<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>		<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

**AFEE** : Association Française pour l'Etude des Eaux

**ATSDR** : Agency for Toxic Substances and Diseases Registry

**ETM** : Éléments traces métalliques

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**GPS** : Global Position System

**HSDB** : Hazardous Substances Data Bank

**Igeo** : Index de géoaccumulation

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

**K**: kelvin

**Kd** : Coefficients de partage

**log<sub>2</sub>** : logarithme de base 2

**MT** : métallothioneines

**pH** : Potentiel en hydrogène

**ppb** : partie par billion

**ppm** : partie par million

**SAA** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

**SAAF** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme

## LISTE DES TABLEAUX

Pages

<b>Tableau I</b> : Caractérisation de quelques métaux selon leur toxicité et leur densité _____	9
<b>Tableau II</b> : Sources anthropiques métaux présents dans l'environnement _____	12
<b>Tableau III</b> : Risques encourus par l'homme suite à la consommation de poisson pollué __	14
<b>Tableau IV</b> : Concentrations en métaux définissant les limites de qualité d'une eau potable	14
<b>Tableau V</b> : Valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments _____	15
<b>Tableau VI</b> : Classes définies par l'index de géoaccumulation _____	18
<b>Tableau VII</b> : Test F d'homogénéité des échantillons d'eau des étangs piscicoles _____	25
<b>Tableau VIII</b> : Test F d'homogénéité des échantillons de sédiment des étangs piscicoles __	26
<b>Tableau IX</b> : Concentrations moyennes des métaux lourds et leur norme dans l'eau. _____	27
<b>Tableau X</b> : Concentrations moyennes des métaux lourds et leur norme dans les sédiments	27
<b>Tableau XI</b> : Quelques paramètres physico-chimiques des eaux des étangs _____	28
<b>Tableau XII</b> : Valeurs des indices de géo-accumulation Igeo des métaux dans les étangs __	29

## LISTE DES FIGURES

Pages

<b>Figure 1</b> : Caractéristiques d'un étang piscicole _____	3
<b>Figure 2</b> : Types d'étang piscicole _____	4
<b>Figure 3</b> : Cycle biologique d'un étang piscicole _____	7
<b>Figure 4</b> : Tableau périodique des éléments chimiques présentant les métaux lourds _____	8
<b>Figure 5</b> : Processus d'exposition _____	16
<b>Figure 6</b> : Cycle globale des métaux lourds _____	17
<b>Figure 7</b> : points de prélèvement des échantillons et le contour des étangs _____	19
<b>Figure 8</b> : Localisation de la zone d'étude _____	20
<b>Figure 9</b> : Différents étangs étudiés : (a)-étang 1 ; (b)-étang 2 ; (c)-étang 3 ; (d)-étang 4 _____	20
<b>Figure 10</b> : Types d'échantillons _____	21
<b>Figure 11</b> : Quelques matériels d'étude (a-Tamis ; b-étuve ; c-four ; d-balance) _____	21
<b>Figure 12</b> : Niveau des concentrations moyennes de Pb, Hg, Cd, et Cu dans l'eau _____	24
<b>Figure 13</b> : Niveau des concentrations moyennes de Pb, Hg, Cd, et Cu dans le sédiments _____	25
<b>Figure 14</b> : Distribution de pH (dans les eaux) des étangs _____	28



# INTRODUCTION

Les étangs piscicoles de barrage et de dérivation constituent des systèmes d'élevage dont la biodiversité est largement reconnue (Robin *et al.*, 2014 ; Wezel *et al.*, 2013 ; Wilfart *et al.*, 2013). Ces étangs, généralement localisés en têtes des réseaux hydrographiques, sont en étroites interactions avec leurs bassins versants. La topographie, la nature et l'occupation des sols dominantes sur les bassins versants (forêt ou surfaces agricoles) déterminent pour une large part l'exposition de l'étang aux contaminants qui sont transportés par les eaux d'alimentation de l'étang. Les polluants proviennent des activités humaines et s'introduisent dans les milieux aquatiques où ils sont incorporés dans la faune et la flore. Ils interfèrent avec les processus chimiques et biologiques dans la colonne d'eau et les sédiments (Said *et al.*, 2013). Parmi ces polluants, se trouvent les éléments en traces métalliques qui entrent généralement dans l'environnement aquatique à travers les dépôts atmosphériques, l'érosion de la matrice géologique ou en raison des activités anthropogéniques notamment le rejet des effluents industriels, des eaux usées domestiques, des déchets miniers, l'utilisation des pesticides et des fertilisants inorganiques (Reddy *et al.*, 2007). Ces polluants, notamment les métaux lourds, peuvent provoquer des effets indésirables sur la vie aquatique et sont transmis à l'homme à la suite de la consommation de produits halieutiques contaminés qui causent une détérioration sérieuse de la santé (Ndome *et al.*, 2010 ; Said *et al.*, 2013). En raison de leur toxicité et de leur accumulation dans l'environnement aquatique, la détermination des concentrations des métaux lourds dans les poissons fait l'objet d'une attention particulière dans plusieurs pays à travers le monde (Kargin *et al.*, 2001 ; Hashmia *et al.*, 2002 ; Okocha et Adedeji, 2011 ; Meshram *et al.*, 2014). Il est donc important de déterminer le niveau de concentration de certains métaux lourds dans milieux piscicoles du fait de la vulnérabilité de ceux-ci aux polluants métalliques d'une part et de l'impact que ces polluants auront sur la faune du milieu, notamment les poissons qui seront par la suite consommés par l'homme au niveau de la chaîne trophique. Le cadre de notre étude est donc d'évaluer la contamination métallique de l'eau et le sédiment d'étangs à production piscicole. L'objectif général de la présente étude étant de déterminer l'intensité de pollution métallique de l'eau et du sédiment des étangs piscicoles, il s'agira spécifiquement :

- de déterminer le niveau de la concentration des métaux lourds dans l'eau et le sédiment des étangs piscicoles ciblés ;
- de déterminer des paramètres physico-chimiques ;
- de déterminer intensité de pollution par le calcul de l'indice de géoaccumulation

Le mémoire s'articule autour de trois (03) parties :

- La partie I qui concerne la synthèse bibliographique de l'étude, donne dans un premier temps, les généralités sur les métaux lourds (définition, types de métaux lourds, sources, caractéristiques physico-chimiques et impacts sur l'homme et biodisponibilités des métaux). Puis dans un second temps, il présente les généralités sur les étangs piscicoles.

- La partie II qui concerne le matériel et les méthodes, présente le matériel d'analyse et la procédure expérimentale (protocoles et méthodes) mise en place au cours de cette étude.

- La partie III présente les différents résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale et des perspectives de recherche pour une éventuelle amélioration et continuation du travail.

## **PARTIE I : GENERALITE**

## 1. DESCRIPTION D'UN ETANG PISCICOLE

### 1.1. Définition d'un étang

Un étang piscicole est une pièce d'eau peu profonde, utilisée pour l'élevage contrôlé du poisson. C'est un ouvrage artificiel utilisé pour l'élevage de poisson.

### 1.2. Caractéristique d'un étang

#### 1.2.1. Critères généraux

Selon les besoins, nous allons construire soit une série d'étangs qui permet des récoltes mensuelles, soit une série d'étangs qui permet des récoltes régulières durant l'année. Toujours dans le but de limiter la quantité du travail et les coûts d'une part, et d'optimiser la disponibilité en eau d'autre part. Il faudra disposer les bassins en fonction de la topographie. La mise en valeur d'un site aménageable est par conséquent un exercice complexe.

#### 1.2.2. Eléments d'un étang piscicole

Il existe de nombreux types d'étangs piscicoles, les principaux éléments et ouvrages associés à chacun d'eux sont : les digues (qui retiennent l'eau dans l'étang), les canaux (qui amènent et évacuent l'eau de l'étang), les dispositifs de régulation (qui contrôlent le niveau de l'eau ou son débit à travers l'étang ou bien les deux), les chemins et voies de desserte (qui longent l'étang et permettent d'y accéder), et les installations de récolte et autres équipements destinés à la gestion de l'eau et des stocks piscicoles.

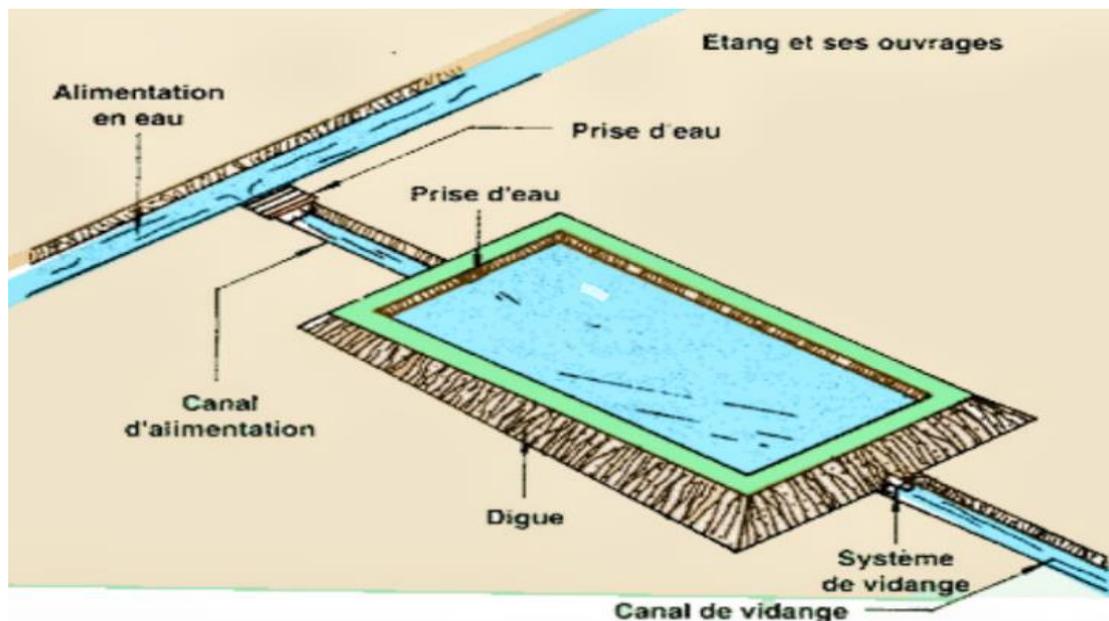


Figure 1 : Caractéristiques d'un étang piscicole

### 1.2.3. Forme d'un étang

Pour une surface en eau équivalente, on recherchera une forme d'étang qui minimise la longueur totale de digue. Pour un étang de même dimension, la longueur totale de la digue augmente régulièrement lorsque la forme de l'étang s'écarte progressivement du carré pour devenir plus allongée. Parallèlement, les coûts de construction augmentent. Les digues qui séparent les étangs (digues intermédiaires) sont plus étroites que la digue-aval. La forme carrée allonge la digue aval. Une forme rectangulaire trop allongée la réduit, mais allonge de manière importante les digues intermédiaires. De plus, si l'on veut garder la même pente pour garantir une bonne vidange, il faudra creuser plus profondément. Ces deux formes ne sont pas optimales. Sur un terrain régulier, la forme d'étang qui demandera le moins de travail est la forme rectangulaire mais pas trop allongée. C'est la forme qui sera utilisée préférentiellement. En général, les étangs rectangulaires ont une longueur environ deux fois supérieure à leur largeur. Il vaut mieux, également, employer une largeur standard pour les étangs prévus pour le même usage. Dans plusieurs cas, il peut être plus simple et plus économique d'adapter la forme de l'étang à la topographie existante.

### 1.3. Types d'étangs piscicoles

On peut les classer en deux catégories principales :

- **les étangs de barrage** : établis dans le fond d'une vallée en construisant une digue en travers de celle-ci. Ils sont alimentés en eau par une ou plusieurs sources, une nappe phréatique ou un cours d'eau dont ils reçoivent le débit en totalité, sans possibilité de contrôle.
- **les étangs en dérivation** : établis sur le côté d'une vallée et alimentés en eau par dérivation à partir d'une source ou d'un cours d'eau principal. Ils reçoivent seulement une partie du débit qui est à tout moment contrôlable.

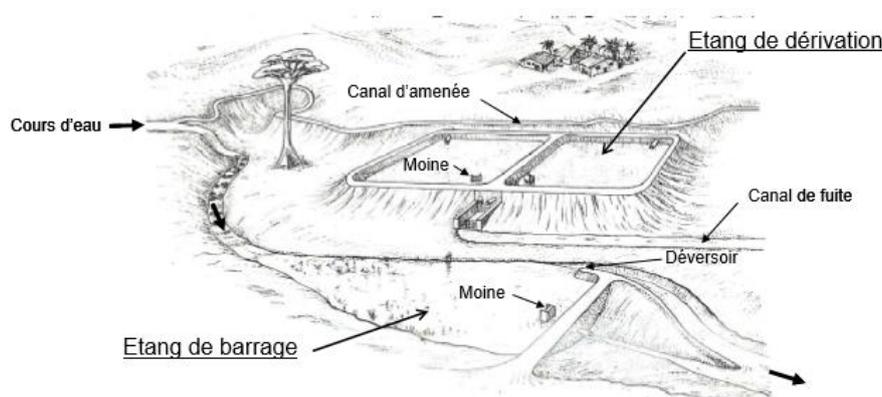


Figure 2 : Types d'étang piscicole

## **1.4. Gestion d'un étang piscicole**

### **1.4.1. Aménagement et entretien**

Les précautions à prendre pour son entretien concernent le remplissage et le maintien du niveau de l'eau, la récolte des poissons marchands, le transport des alevins, l'entretien du fond, l'entretien des autres parties de l'étang, le contrôle de la végétation. Afin de pouvoir avoir une production correcte sur plusieurs années, il convient d'assurer un certain nombre d'interventions et prendre des précautions sur différents aspects dont les maladies des poissons, la nutrition des poissons, l'entretien régulier des étangs et l'entretien des étangs entre deux utilisations. Dans la plupart des cas, les poissons tireront une grande partie de leur nourriture des petits animaux et végétaux qui croissent dans l'eau verte. Cependant, il arrivera qu'il soit nécessaire de distribuer des apports d'aliments supplémentaires si la production primaire dans les étangs n'est pas bonne et, donc, si la croissance des poissons est faible. D'un point de vue de la nutrition, la matière organique comprend les protides (protéines), les lipides (graisses), les glucides (hydrates de carbone), ainsi que des substances en proportion relativement plus faibles (micronutriments) tels que les vitamines et les minéraux. Les besoins en nutriments varient selon les espèces ainsi que leur régime alimentaire. De nombreuses substances peuvent constituer des aliments de complément, par exemple les végétaux terrestres (herbacés, feuilles et graines de légumineuses arbustives, fruits, légumes), les végétaux aquatiques (jacinthe d'eau, laitue d'eau et lentille d'eau), les petits animaux terrestres (vers de terre, termites, mollusques), les animaux aquatiques (vers, têtards, grenouilles, poissons), le riz (brisures, issues de polissage, son, balle), le blé (balayures, remoulages, son), le maïs (gluten, farine de gluten), la canne à sucre (molasses, tourteaux filtrés, bagasses), les déchets de brasserie (drèche et levure), les déchets de cuisine, les déchets d'abattoir (abats, sang, contenu de rumen ou de panse), les pupes de vers à soie, le fumier (fientes de poule, lisier de porc).

### **1.4.2. Mode de fonctionnement**

Les systèmes de piscicultures sont des ensembles d'éléments en interaction dynamique, organisés par l'homme en vue de valoriser des ressources plus particulièrement par l'intermédiaire des poissons (dit d'aquaculture). L'étang à gestion piscicole est un écosystème qui vit au rythme des saisons et implique un réseau trophique aboutissant au poisson. On distingue quatre phases d'exploitation distinctes au cours de son cycle de fonctionnement à savoir : le remplissage, la production, la vidange et l'assec.

#### **1.4.2.1. Phase de remplissage**

Elle marque le début du cycle avec le remplissage de l'étang par l'eau grâce à la fermeture du système de vidange. La durée de cette phase est variable (de quelques jours à quelques mois) et est fonction de la source d'alimentation en eau et de la superficie de l'étang.

#### **1.4.2.2. Phase de production**

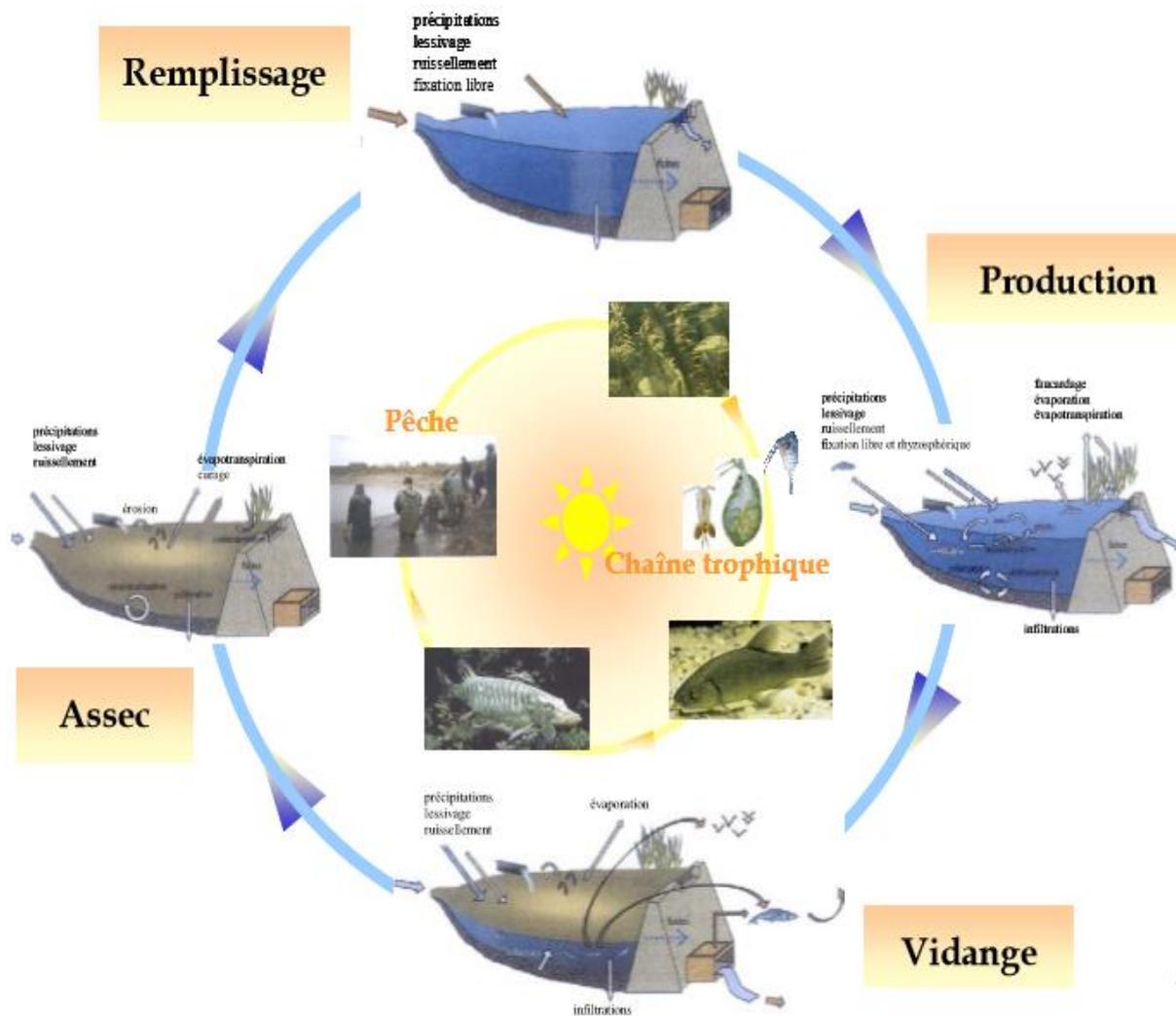
Une fois le remplissage en eau terminé, l'énergie solaire interceptée par l'étang est utilisée pour le réchauffement des eaux et pour d'autre activité photosynthétique du phytoplancton (Dabbadie, 1996 ; Bachasson, 1997). Il s'ensuit une succession de colonisations (dont l'empeuplement pour les étangs de production) par différents organismes induisant une juxtaposition de différents niveaux trophiques où les organismes sont indépendants mais entretiennent des relations trophiques entre eux et interagissent avec le milieu (Dabbadie, 1996 ; Thomas, 2000). La croissance des juvéniles et des poissons adultes est alors possible dans la mesure où ils trouvent dans l'étang des ressources alimentaires dans la matière organique élaborée in situ à différents niveaux trophiques et/ou dans les aliments apportés par le pisciculteur. La production de matière organique in situ peut être favorisée par des apports de fertilisants de nature variée et dont une partie est souvent perdue sous forme de gaz et/ou sous forme dissoute par les eaux d'infiltration au cours de cette phase.

#### **1.4.2.3. Phase de vidange**

Elle survient généralement après une durée d'élevage qui varie entre six à douze mois en milieu tropical. Elle est principalement déterminée par la taille des poissons commercialisables et par la possibilité de remplir à nouveau l'étang (choix d'une saison pluvieuse). Cette phase correspondant à des exportations d'eau et de matière (Banas, 1997) est la plus préjudiciable pour le milieu récepteur aval (Le Louarn et Bertru, 1991 ; Gignoux, 1992 ; Schwartz et Boyd, 1994).

#### **1.4.2.4. Phase de l'assec**

L'assec est une phase nécessaire pour d'éventuelles actions d'entretien dans l'étang comme la réparation des digues, le curage, la restauration du fossé principal ou l'entretien des berges. D'après Schlumberger (2002), l'assec jouerait également d'autres rôles importants à savoir l'aération de la vase et la minéralisation de la matière organique, la limitation de la prolifération d'organismes indésirables tels que les parasites ou les virus. Cette phase est souvent brève et incomplète en milieu tropical humide et parfois supprimée (da Silva *et al.*, 2009 ; Tamassia, 2011).



**Figure 3 :** Cycle biologique d'un étang piscicole (d'après Banas D., 1997 et Bouin N., 2002).

### 1.5. Cadre environnemental d'un étang a production piscicole

L'environnement concerne tout ce qui conditionne les possibilités piscicoles, c'est-à-dire aussi bien la nature du sol et sa topographie, que la nature de l'eau, son volume disponible et sa répartition annuelle. Il est indispensable que la nature du sol permette d'avoir une réserve d'eau permanente. Il doit donc être suffisamment chargé en argiles pour obtenir une imperméabilité d'autant plus grande que les apports d'eau seront irréguliers ou faibles. L'objectif est de ne devoir compenser que l'évaporation. La composition chimique de l'eau des étangs dépend essentiellement des caractères chimiques des terrains qu'elle traverse et de la végétation qui les recouvre. En général les eaux de savane sont plus riches et moins acides que les eaux qui sortent de la forêt, mais les risques de pollution par les sédiments sont plus grands (ravinement, érosion en nappe). Plus les terrains traversés sont riches en sels minéraux et plus l'eau est alors dotée d'une forte productivité naturelle, grâce à la prolifération du phytoplancton et de certains végétaux supérieurs.



### 2.1.2. Types des métaux lourds

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologique et toxique : métaux essentiels et métaux toxiques (Huynh, 2009). Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport à la capacité d'assimilation de l'organisme. Les métaux essentiels ou oligoéléments sont des éléments indispensables à l'état de traces pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du Cu, du Ni, du Zn et du Fe. Par exemple le Zn à la concentration du milli molaire est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénase, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (Kabata *et al.*, 2001). On a ainsi :

- les métaux essentiels : Ils sont indispensables au déroulement des processus biologiques mais à de très faibles quantités et deviennent toxiques à fortes concentrations. C'est le cas du Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Mo, Se, Ni, V, Ti, As.
- les métaux non essentiels : Ils n'ont aucun rôle biologique commun. Ces derniers sont nommés toxiques tels que : Pb, Cd, Hg, l'antimoine (Sb).

Les différents types d'effets possibles de six métaux lourds sur les plantes et les animaux sont présentés dans le Tableau I.

**Tableau I** : Caractérisation de quelques métaux selon leur toxicité et leur densité (Adriano, 2001)

Métaux lourds	Plantes	Animaux	Densité
Cd	<b>Toxique</b>	<b>Toxique</b>	8,65
Cu	Essentiel	Essentiel	8,92
Ni	<b>Toxique</b>	Essentiel	8,90
Pb	<b>Toxique</b>	<b>Toxique</b>	11,34
Zn	Essentiel	Essentiel	7,14
Hg	<b>Toxique</b>	<b>Toxique</b>	13,59

### 2.1.3. Propriétés physico-chimiques générales

Les métaux (essentiels ou non essentiels) présentent quelques caractéristiques et propriétés dont quelques-unes sont reprises ici. Dans l'environnement, ils se trouvent sous la forme de cation à l'état d'oxydation +II, mais plusieurs formes ioniques peuvent se trouver dans l'eau et dans les sols. En milieu aquatique, on rencontre ces éléments sous diverses formes physiques et chimiques. Ils peuvent également être accumulés dans les tissus des organismes aquatiques (animaux ou végétaux)

## 2.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des métaux étudiés

### 2.1.4.1. Cadmium (Cd)

Le cadmium (Cd) est un métal bleuté, mou et malléable de couleur argentée avec des teintes de bleu lustré. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 48 et  $112,41 \text{ g.mol}^{-1}$ . Sa Masse volumique est  $8,69 \text{ g.cm}^{-3}$  à  $20^\circ\text{C}$ , ses points d'ébullition et de fusion sont respectivement  $767^\circ\text{C}$  et  $321,07^\circ\text{C}$ . Il ternit au contact de l'air et réagit avec les acides et les bases. Le cadmium est un élément présent naturellement dans la croûte terrestre à des concentrations d'environ 1 à 2 ppm où il est souvent associé au zinc et au plomb. Il n'est habituellement pas présent comme métal pur dans l'environnement, mais dans son état d'oxydation unique c'est à dire +II (HSDB, 2000) ; et est combiné à d'autres éléments comme l'oxygène ( $\text{CdO}$  = oxyde de cadmium), le chlore ( $\text{CdCl}_2$  = chlorure de cadmium) ou le soufre ( $\text{CdS}$  = sulfure de cadmium ;  $\text{CdSO}_4$  = sulfate de cadmium) (ATSDR, 1999). En milieu aquatique, le cadmium est relativement mobile et peut être transporté sous forme de cations hydratés ou de complexes organiques ou inorganiques (HSDB, 2001). Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus particulièrement dans celles qui sont riches en carbonates, en sulfures et en phosphates (Baize, 1997). C'est un élément associé généralement au zinc. Il peut également se trouver dans des gisements de sulfures où il est présent sous la forme de greenockite ( $\text{CdS}$ ). Le cadmium peut être adsorbé à la surface de la plupart des minéraux argileux, des carbonates ou des hydroxydes de fer ou de manganèse. Dans les eaux naturelles l'ion  $\text{Cd}^{2+}$  prédomine au-dessous de  $\text{pH}=8$ .  $\text{CdCO}_3^0$  est prédominant entre les  $\text{pH}$  de 8 à 10 unités (Hem, 1972). Dans sa spéciation, il est généralement considéré comme dissous, seules les rivières très riches en matières en suspension ou des eaux proches du fond des rivières, peuvent présenter du Cd adsorbé à la fraction solide (Li *et al.*, 1984). L'adsorption du Cd dans la fraction solide est considérée comme étant un enjeu majeur pour expliquer la concentration de cet élément dans les eaux naturelles (Lum, 1987).

### 2.1.4.2. Cuivre (Cu)

Le cuivre est un métal de couleur rouge-brun, malléable, ductile et conducteur d'électricité. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 29 et  $63,54 \text{ g.mol}^{-1}$ . Sa Masse volumique est  $8,96 \text{ g.cm}^{-3}$  à  $20^\circ\text{C}$ , ses points d'ébullition et de fusion sont respectivement  $2580^\circ\text{C}$  et  $1083^\circ\text{C}$ . Sa tension de vapeur est de 0 mbar à  $20^\circ\text{C}$ ,  $0,00073 \text{ mbar}$  à  $1083^\circ\text{C}$  et  $0,133 \text{ Pa}$  à  $1870^\circ\text{C}$ . Le métal n'est attaqué directement que par des acides oxydants (acide nitrique, acide sulfurique concentré) à chaud (Peter *et al.*, 1994). Le cuivre est

indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments). L'ion cuivre  $Cu^{2+}$  forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium ou avec des ligands organiques (ATSDR, 1990 ; Dameron *et al.*, 1998). L'oxyde cuivreux  $Cu_2O$  est insoluble dans l'eau alors que les formes  $CuSO_4$ ,  $Cu(OH)_2$  et  $CuCl_2$  le sont.

#### 2.1.4.3. Mercure (Hg)

Le mercure est un élément chimique de symbole Hg et de numéro atomique 80. Le mercure peut exister sous trois formes différentes : le mercure élémentaire ( $Hg^0$ ), le cation mercurieux ( $Hg^+$ ) et le cation mercurique ( $Hg^{2+}$ ). Dans la nature, le mercure peut se rencontrer à l'état élémentaire métallique. Dans l'organisme, le mercure pénétrera surtout sous forme de vapeurs, par la voie respiratoire. Le mercure peut aussi se rencontrer sous forme ionisée, principalement à l'état de cation divalent mercurique ( $Hg^{2+}$ ), par exemple dans les oxydes ( $HgO$ ), les sulfures ( $HgS$ ) ou les sels hydrosolubles comme le nitrate  $Hg(NO_3)_2$ . Tous ces composés peuvent se retrouver dans les minerais présents dans le sol, ou dans les process de la métallurgie du mercure (Picot, 2002). Le cation méthylmercurique ( $CH_3 - Hg^+$ ) correspond à la forme organométallique, espèce dans laquelle se retrouve principalement le mercure dans les animaux marins contaminés comme les poissons gras (thons, espadons, requins...), les crustacés, les huîtres et les moules. Chez l'Homme, l'apport de mercure par l'alimentation est majoritairement (au moins 90 %) sous forme de cation méthylmercurique ( $CH_3 - Hg^+$ ), fourni pour l'essentiel par la consommation de produits marins.

#### 2.1.4.4. Plomb (Pb)

Le plomb est un métal mou résistant à la corrosion. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 82 et  $207,2g \cdot mol^{-1}$ . Avec une densité de  $11,3g \cdot cm^{-3}$ , le plomb possède un point de fusion de température  $327,46^\circ C$  et une température d'ébullition de  $1749^\circ C$ . Il est difficilement détruit, et non dégradable (Morlot, 1996). Sa configuration électronique autorise les degrés d'oxydation (+II), (+IV), en plus de la forme métal (0). Dans le milieu naturel, les espèces inorganiques du plomb incorporent cet élément sous le degré (+II). Le degré (+II) est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales (INERIS, 2003). Le degré d'oxydation (+IV) n'est représenté que dans des conditions très oxydantes, non rencontrées dans les sols. Il se retrouve majoritairement dans les composés inorganiques dont la source est principalement anthropique. La forme d'oxydation (0) n'est quant à elle que rarement représentée car elle nécessite des conditions très réductrices peu courantes dans les sols.

## 2.1.5. Sources de contamination

### 2.1.5.1. Sources naturelles

Les métaux lourds existent naturellement dans les roches et dans la croûte terrestre sous forme insoluble. Les roches sont altérées et désagrégées par l'action mécanique de l'érosion (agents météoriques) et par l'attaque des acides formés dans l'atmosphère (acide carbonique) ou issus de la décomposition de la matière organique (acides humiques). Les métaux fixés dans les roches sous forme d'oxydes ou de silicates sont peu altérables chimiquement : les oxydes et silicates métalliques sont libérés de la roche par érosion et transportés sous forme de particules. Ainsi les métaux lourds peuvent contaminer l'environnement aussi bien par des processus géochimiques normaux que par des sources anthropogènes (Miquel, 2001). Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma.

### 2.1.5.2. Sources anthropiques

Les activités de l'homme contribuent pour une grande part à la pollution des matrices environnementales par les métaux lourds. Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Mckenzie *et al.*, 1997 ; Weiss *et al.*, 1999). Les sources anthropogènes sont les suivantes :

**Tableau II** : Sources anthropiques métaux présents dans l'environnement (Brignon ,2005)

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn

### 2.1.6. Toxicité des métaux étudiés sur un écosystème

À une concentration plus élevée que la normale, les métaux lourds peuvent entraîner des nuisances plus ou moins graves pour l'être humain, la faune et la flore. Le plomb, le cadmium et le mercure sont considérés comme toxiques ou très toxiques. On distingue deux types de toxicité : la toxicité aiguë et la toxicité chronique. La première concerne les effets nocifs provoqués par une seule exposition à une forte dose de métal lourd (par ingestion, voie respiratoire ou cutanée), de caractère plutôt accidentel. La seconde désigne les effets nocifs dus à une exposition répétée. Dans ce dernier cas, c'est l'accumulation de petites doses dans le corps qui provoque à long terme des effets indésirables.

-**Toxicité du Cd** : L'ingestion de dérivés inorganiques du cadmium provoque chez l'Homme des troubles digestifs intenses, caractérisés par des douleurs abdominales (gastro-entérite avec crampes épigastriques), des diarrhées, des nausées et des vomissements, des myalgies. Les pertes digestives sont responsables d'une hypovolémie et de désordres hydroélectrolytiques. L'effet émétique (qui provoque un vomissement) du cadmium est un facteur pouvant expliquer la faible mortalité par cette voie. Une intoxication mortelle a cependant été observée suite à l'ingestion volontaire de 5 g d'iodure de cadmium (INERIS, 2011 ; Haguenoer et Furon, 1982)

-**Toxicité du Cu** : L'inhalation excessive de poussières contenant du cuivre peut mener à des irritations nasales et oculaires ainsi que des maux de tête, des nausées et des diarrhées. En ce qui concerne l'ingestion, les symptômes sont principalement liés au système gastro-intestinal comme des douleurs abdominales et des vomissements. L'ingestion d'eau dont la teneur excède 3 mg Cu/L entraîne l'apparition de nécroses hépatiques (Liu *et al.*, 2008). La toxicité hépatique serait expliquée par la saturation des lysosomes où est complexé le cuivre avec des métallothionéines. Ces organites ne pouvant en métaboliser davantage, l'excès de cuivre migrerait au noyau où il causerait des dommages oxydatifs accrus (ATSDR, 2004).

- **Toxicité du Pb** : L'exposition répétée au plomb peut être responsable de troubles mentaux organiques. Les premiers signes de l'atteinte neurologique centrale sont des céphalées, une asthénie, des troubles du sommeil (insomnie, cauchemars), une irritabilité, une diminution de la libido et des idées dépressives (GDS, 2002 ; Lauwerys, 1990). Le plomb a été également étudié pour ses effets hépatotoxiques (Mudipalli, 2007) et neurologiques ainsi que les risques cardiovasculaires associés à toute exposition (Navas-Acien, 2007).

- **Toxicité du Hg** : Les manifestations toxiques du mercure varient en fonction de sa nature. Une exposition chronique au mercure métallique sous forme de vapeur provoque

principalement des symptômes au système nerveux central comme des tremblements ou une humeur dépressive, mais peut aussi entraîner une protéinurie au niveau des reins (Liu *et al.*, 2008). Il peut également causer une hypertrophie de la glande thyroïde et une gingivite. Quant au mercure inorganique, son organe cible est le rein où il peut induire une néphrite qui est une inflammation du rein. Le mercure organique, essentiellement le méthylmercure, cible le système nerveux central (Gilbert, 2010) où il peut notamment causer une paresthésie (fourmillements, engourdissements, etc.), une ataxie (manque de coordination des mouvements volontaires) ou une neurasthénie (sensation générale de fatigue et de déprime).

**Tableau III** : Risques encourus par l'homme suite à la consommation de poisson pollué

Métal	Maladie	Toxicité	Effets	Organes cibles	Source
<b>Cd</b>	Itai-Itai	Très toxique, symptômes à 600µg/kg. Peut occuper les sites actifs de Zn et perturber les mécanismes	Protoburie (lésion rénale), ostéomalacie (déformation squelette), néphrite anémie et gastrite	Rein	AFEE, 1979
<b>Cu</b>	Wilson	Essentiel pour l'homme. Toxicité due à l'ingestion de grande quantité. Symptômes à 10 mg Cu <sup>2+</sup>	Peu caractéristiques : troubles gastro-intestinaux, accumulation dans le foie	Foie et noyaux gris centraux	AFEE, 1979
<b>Hg</b>	Minamata	Toxicité élevée due à CH <sub>3</sub> Hg <sup>+</sup> . Symptômes aigus à 20 mg/kg et premières manifestations à 100 mg/kg	Névrologie hypercrinie (salivation et transpiration) ataxie, paralysies nerveuses, Maladie congénitales (paralysie cérébrale, retard mental et handicap moteur)	Cerveau, cortex cérébral et chemins sensoriels	AFEE, 1975
<b>Pb</b>	Saturnisme	Toxique si absorbé en grande quantité. Métabolisme similaire à Ca <sup>2+</sup> (accumulation dans les os)	1. Maux de tête, fatigues et malaises 2. Faiblesses ou paralysie des muscles (moins fréquent) 3. Encéphalopathie chez les jeunes enfants	Appareil digestif et encéphale. Affecte la perméabilité membranaire	AFEE, 1976

## 2.1.7. Normes internationales des ETM

### 2.1.7.1. Dans l'eau

Le Tableau IV présente les Concentrations en métaux et métalloïdes définissant les limites de qualité d'une eau potable.

**Tableau IV** : Concentrations en métaux définissant les limites de qualité d'une eau potable

Elément	Décret n°2001-1220	Recommandation OMS
Cd	0,005 mg/kg	0,003 mg/kg
Cu	0,002 mg/kg	0,002 mg/kg
Hg	0,001 mg/kg (mercure total)	0,001 mg/kg (mercure total)
Pb	0,01 mg/kg	0,01 mg/kg

### 2.1.7.2. Dans les sédiments

Le Tableau V présente les valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments.

**Tableau V** : Valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments

<b>Elément</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>
<b>Recommandation OMS (mg/kg)</b>	0,03	145,71	0,54	1,41

## **2.2. Biodisponibilité**

### **2.2.1. Définition**

On définit la biodisponibilité comme le degré avec lequel un contaminant, dans une source potentielle, est assimilé par un organisme (O'Donnel *et al.*, 1985 ; Newman and Jagoe, 1994). Elle met en jeu trois étapes principales (Campbell, 1995) : l'advection ou la diffusion depuis la solution vers la surface de la membrane, l'adsorption ou la complexation sur les sites de transport et le transport à travers la membrane pour une assimilation dans l'organisme. La connaissance de la biodisponibilité d'un élément toxique dans un milieu donné est donc primordiale pour estimer l'exposition des organismes à ce toxique et son effet (toxicité, bioaccumulation, bioconcentration). Dans le cas des métaux, il est connu depuis longtemps que les concentrations totales du milieu ne permettent pas d'évaluer l'exposition réelle ni les effets possibles sur les organismes.

### **2.2.2. Spéciation métallique en milieu aquatique**

#### **2.2.2.1. Dans la colonne d'eau**

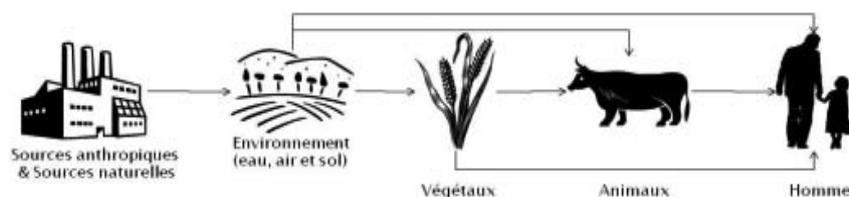
Dans la colonne d'eau les ETM se répartissent entre les phases dissoute et particulaire. Au regard des coefficients de partage ( $K_d$ ), les teneurs apparaissent supérieures de plusieurs ordres de grandeur aux concentrations rencontrées dans la phase dissoute. Il a d'ailleurs été montré que les concentrations en ETM dans les rivières couvrent plus de 10 ordres de grandeur, similaires à la gamme d'abondance des ETM dans la croûte terrestre (Gaillardet *et al.*, 2003). Dans les eaux de rivières ; les niveaux de concentrations des ETM dépendent non seulement de leurs abondances continentales, de leur mobilité lors d'intempéries (remise en suspension, activité biologique, ...), des processus de transport, mais aussi des conditions physicochimiques de la rivière elle-même (Gaillardet *et al.*, 2003). La mobilité des ETM dans les eaux des rivières est donc le résultat d'une combinaison complexe de plusieurs facteurs : leur solubilité dans l'eau, l'entrée dans le système de sources extérieures telles que l'air et/ou les sources anthropiques, la capacité des éléments à être complexés par les colloïdes fins ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ) et de l'affinité des ETM pour les particules (adsorption, co-précipitation, équilibre de solubilité) (Gaillardet *et al.*, 2003).

### 2.2.2.2. Dans le sédiment

Une grande partie des ETM initialement dissous peut se fixer sur une phase solide (sédiments, colloïdes) selon quatre mécanismes principaux : l'adsorption et l'échange d'ions, la précipitation ou la co-précipitation à la surface du solide et l'absorption (Flores-Rodriguez, 1992). Cependant, lors de modification des conditions physico-chimiques du milieu, les ETM ainsi fixés peuvent être mobilisés. La spéciation des ETM dissous est donc influencée par un grand nombre de facteurs physico-chimiques (pH, salinité, force ionique, ...) qui peuvent être soumis à des variations importantes, notamment dans des zones de mélange tels que les estuaires. Les molécules organiques présentes dans les systèmes aquatiques ont donc une importance primordiale de par leurs fortes affinités vis-à-vis des ETM (Bruland et Lohan, 2003).

### 2.2.3. Modes de transfert métallique dans un écosystème aquatique

Dans les écosystèmes aquatiques, les ETM sont transférés au biote dont les poissons, puis aux animaux piscivores et, en bout de chaîne, à l'homme (Chen *et al*, 2000). Ainsi ils peuvent affecter les organismes directement en s'accumulant dans leurs corps ou indirectement par transfert via la chaîne alimentaire. La place des poissons comme importante composante du régime alimentaire humain, engendre des préoccupations relatives aux risques sur la santé. Les hommes sont exposés par inhalation des polluants aériens, la consommation de denrées alimentaires contaminées, l'exposition à des sols contaminés de déchets industriels. Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme le mercure, l'étain et le plomb, les formes organiques sont les plus toxiques (Ramade, 1979). Ainsi, après la libération des métaux lourds par les différentes sources naturelles ou anthropiques, ceux-ci peuvent se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement que sont l'air, les eaux, les sols et dans les organismes végétaux et animaux. De plus, chacune de ces matrices de l'environnement peut à son tour entraîner la contamination d'une autre matrice (**Figure 2**) (Aurélien et Géraldine, 2008). Ainsi, l'homme s'expose aux métaux lourds par inhalation, par ingestion et par voie cutanée (Benedetto, 1997).



**Figure 5** : Processus d'exposition

#### 2.2.4. Paramètres influençant le transfert des métaux

Le transport des sédiments est contrôlé par la taille des grains, la densité des particules ainsi que par la vitesse des cours d'eau. En induisant une rupture dans la continuité du transfert sédimentaire et en contrôlant la vitesse des écoulements, les seuils et barrages limitent le transport sédimentaire. A l'échelle des bassins versants, la répartition spatiale des métaux dans les sédiments est largement influencée par la capacité de dépôts des particules fines. L'altération des phases porteuses constitue un facteur de variabilité spatiale et temporelle des teneurs en métaux dans les sédiments. Les processus hydro-sédimentaires contrôlent le transport, le dépôt et l'archivage des sédiments dans les cours d'eau, et donc celui des substances chimiques associées. Ils influencent ainsi la répartition spatiale et temporelle des métaux dans les sédiments.

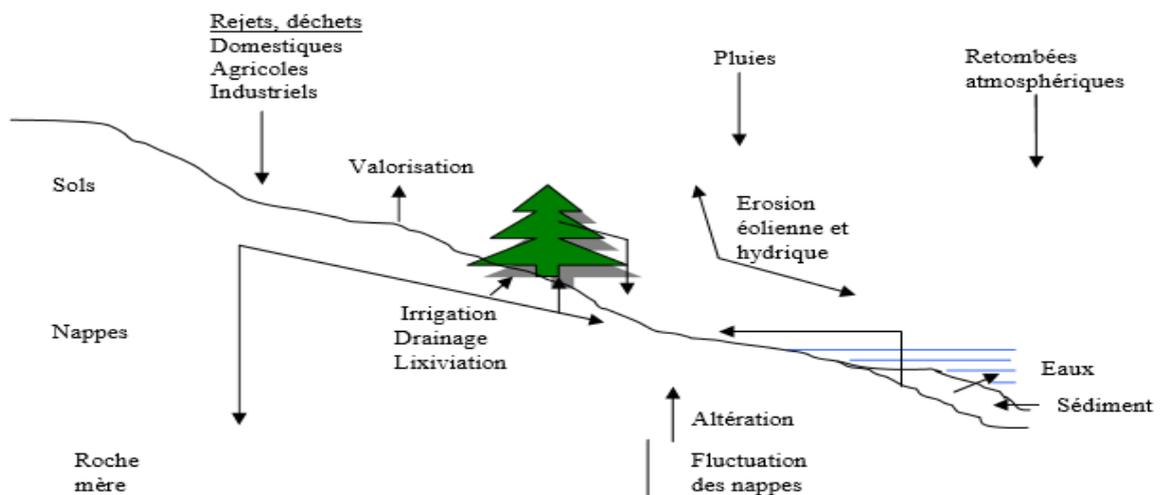


Figure 6 : Cycle globale des métaux lourds

#### 2.2.5. Mode de contamination métallique des poissons dans un étang piscicole

La filière piscicole, au même titre que les autres filières de production animale, est confrontée aux exigences du consommateur et de la réglementation des denrées alimentaires destinées à la consommation humaine vis-à-vis des teneurs en micropolluants dans le poisson.

#### 2.2.6. Indice de contamination

Un second critère pour évaluer l'intensité de la pollution métallique est l'index de géoaccumulation (Müller, 1969). Cet index de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique. En outre, Müller a défini une échelle avec six classes d'index de géoaccumulation (Tableau VI).

$$I_{\text{géo}} = \log_2\left(\frac{C_n}{1,5B_n}\right)$$

Où  $I_{géo}$  : Index de géoaccumulation ;  $\log_2$  : logarithme de base 2 ; n : élément considéré ;  
 C : concentration mesurée dans l'échantillon ; B, fond géochimique ; 1,5 : facteur d'exagération du fond géochimique, dont la fonction est de prendre en compte les fluctuations naturelles du fond géochimique.

La simplicité du calcul de cet index nous permet de comparer facilement avec des données d'autres régions étudiées dans le monde et d'utiliser différents fonds géochimiques pour effectuer de nombreuses comparaisons.

**Tableau VI** : Classes définies par l'index de géoaccumulation

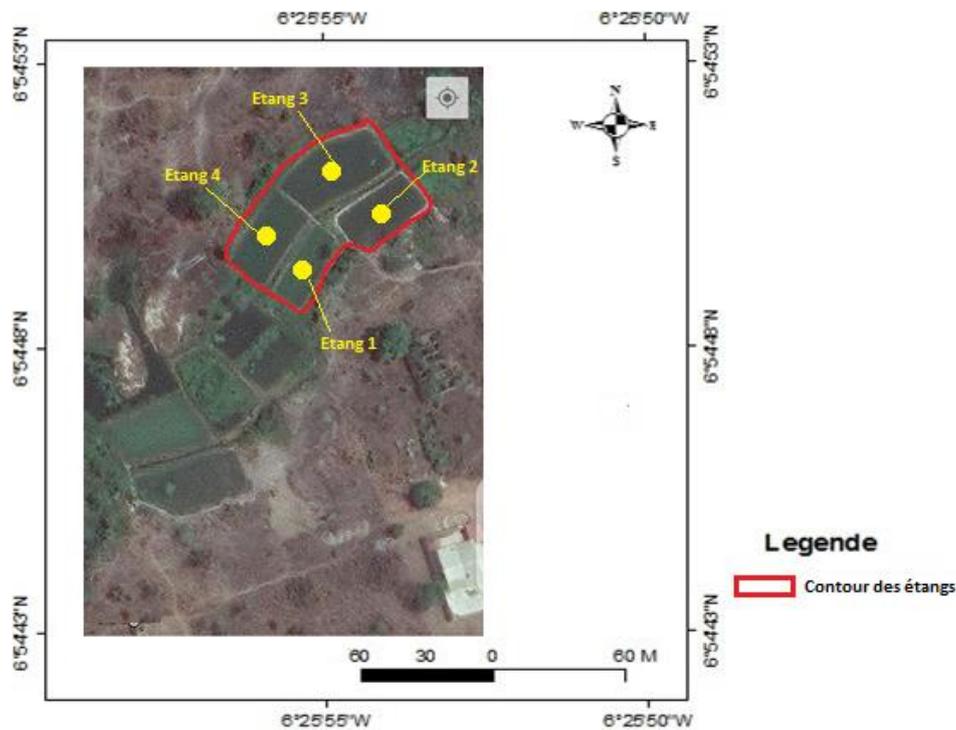
Valeur de l'index ( $I_{geo}$ )	Classes $I_{geo}$	Intensité de la pollution
$I_{geo} > 5$	6	Contamination extrême
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	Forte à extrême contamination
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	Forte contamination
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	Contamination modérée à forte
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	Contamination modérée
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	Sans à légère contamination
$I_{geo} \leq 0$	0	Sans contamination

## **PARTIE II : MATERIEL ET METHODES**

## 1. MATERIEL

### 1.1. Localisation et caractérisation des étangs piscicoles

Les travaux ont porté sur 4 étangs piscicoles. Ainsi des étangs piscicoles de Daloa ont été retenus pour cette étude. Les étangs sont bordés par des habitations, des plantations de maïs, de manioc et d'igname. La figure 7 présente les points de prélèvement des échantillons et le contour des étangs.



**Figure 7:** points de prélèvement des échantillons et le contour des étangs

### 1.2. Présentation du site d'étude

Daloa est une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra, elle est située entre les latitudes 7°20' et 5°45' W et les longitudes 7°15' et 6°30' N (figure 8). Cette zone couvre une superficie d'environ 5 450 km<sup>2</sup> et le département de Daloa occupe 28% de la surface de la région. La ville de Daloa représente le pôle économique de la région. Elle appartient au bassin de la Lobo situé entre 6°05' et 6°55' de longitude Ouest et entre 6°02' et 7°55' de latitude Nord. La population de Daloa est estimée à environ 26491888 habitants, soit un taux d'accroissement annuel moyen de 2,59% / an par rapport au recensement général de 2014 (RGPH, 2019). L'agriculture constitue la principale activité génératrice de revenus des populations. Le système de production est dominé par la filière café-cacao. En dehors de la culture du café et cacao, on note la présence de quelques installations de transformation primaire (scieries) qui consistent au découpage, sciage et séchage du bois.

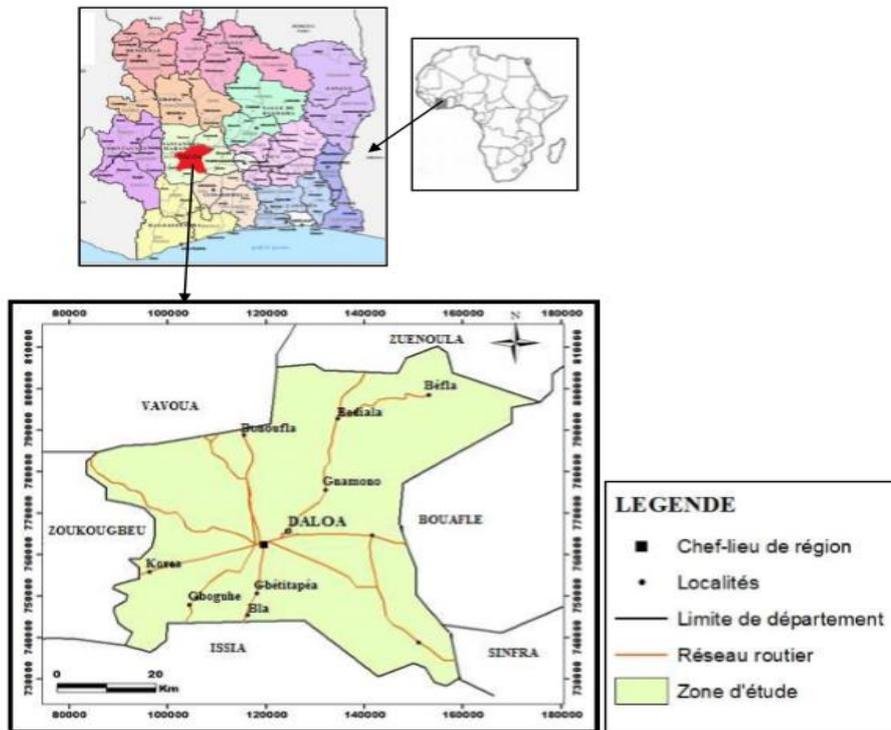


Figure 8 : Localisation de la zone d'étude

### 1.3. Matrice d'étude

La matrice d'étude est constituée de l'eau et du sédiment des étangs piscicoles. Les Figures 9 et 10 montrent respectivement les différents étangs d'échantillonnage et les différents échantillons prélevés.

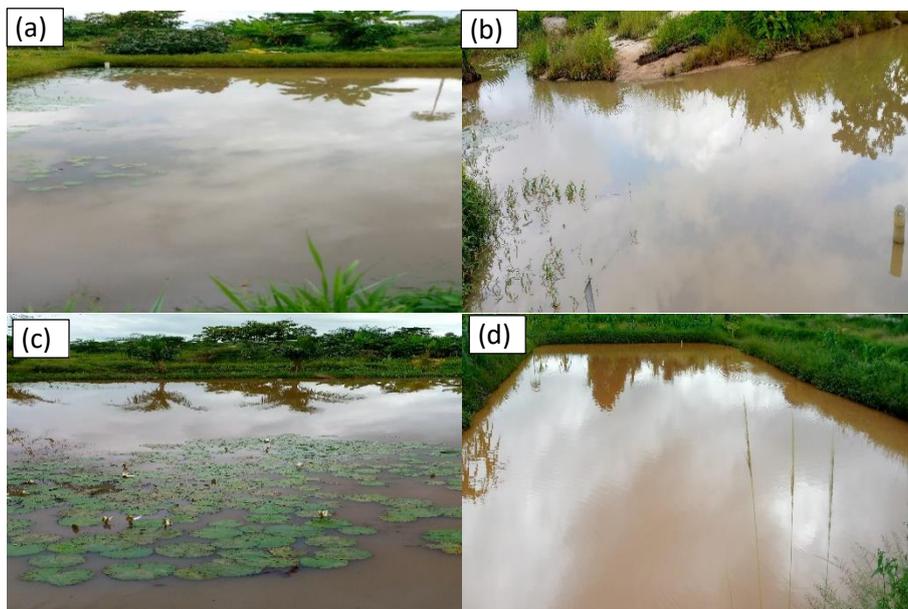


Figure 9 : différents étangs étudiés : (a)-Etang 1, (b)- Etang (2) ; (c)- Etang 3 ; (d)- Etang 4



**Figure 10 : types d'échantillons : (a)- Echantillons de sédiment ; (b)- Echantillons d'eau**

#### 1.4. Matériel d'échantillonnage et d'analyse

La liste non exhaustive du matériel utilisé pour effectuer les prélèvements des différentes matrices et à l'analyse au laboratoire des échantillons est composée de :

- gants en latex pour la prise manuelle des différents échantillons de sédiment, l'eau et leur manipulation au laboratoire ;
- multiparamètre pour la mesure in-situ des paramètres physico-chimiques (T°C, conductivité, pH, % de saturation d'oxygène dissout, TDS).
- sachets alimentaires plastiques l'emballage des différents échantillons ;
- pots en plastique pour le prélèvement d'échantillon d'eau
- GPS Gamin Map 60 CSX pour le repérage géographique des zones de prélèvement ;
- appareil photo ;
- glacière ;
- tamis de diamètre de porosité 2 mm,
- creusets,
- balance analytique de marque OHAUS/PA 2102 °C ;
- four à moufle programmable à haute température de marque Nabertherm, (30-3000°C) ;
- étuve de type memmert ;
- spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA)



**Figure 11 : Quelques matériels d'étude (a-Tamis ; b-étuve ; c-four ; d-balance)**

## **2. METHODES**

### **2.1. Méthodes d'échantillonnage**

#### **2.1.1. Eau**

L'eau a été prélevée dans les pots en plastique de capacité un litre, préalablement lavées à l'acide nitrique à 10% et rincées 3 fois avec de l'eau distillée. L'eau des différents étangs est prélevée à une profondeur d'environ 10 cm en-dessous de la surface du plan d'eau afin d'éviter les particules en suspension.

#### **2.1.2. Sédiment**

Le prélèvement des sédiments a été effectué par prise manuelle avec des gants en latex dans les différents étangs piscicoles. Les sédiments prélevés ont été mis dans les sachets alimentaires. Tout comme l'eau, quatre (4) échantillons composites ont été prélevés par étang et transportés au laboratoire dans une glacière.

### **2.2. Méthodes de minéralisation et d'analyse**

#### **2.2.1. Eau**

Les différents échantillons d'eau prélevés sont par la suite acidifiés avec 1 mL d'acide nitrique concentré afin de les stabiliser pendant leur conservation au laboratoire jusqu'à l'analyse au SAA. L'ensemble des échantillons d'eau a été ensuite transporté dans une glacière avec de la glace, conservé dans un réfrigérateur à 4° C. Dans chaque étang, on a prélevé quatre (4) échantillons d'eau devant servir à l'analyse des métaux. Soit au total 16 échantillons d'eau ont été prélevés des étangs piscicoles d'étude. Avant le dosage, les échantillons d'eau ont été tous filtrés à l'aide de papier Whatman de diamètre de mailles 45 µm afin d'éliminer les particules indésirables. On prélève, pour le dosage au Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA), 50 mL de cette eau filtrée.

#### **2.2.2. Sédiment**

Les échantillons de sédiments ont été séchés à l'étuve à 80°C pendant 24 heures. Ils sont ensuite écrasés dans un mortier en porcelaine puis tamisés dans un tamis de maille 2 mm pour éliminer les morceaux de coquilles, branches et de feuilles afin d'obtenir une poudre dont les particules ont un diamètre inférieur à 63 µm. La méthode de digestion utilisée est celle de la décomposition totale préconisée par Tessier *et al.* (1979). Une quantité de 0,5 g de sédiment a été traitée dans des tubes en téflon bouchés avec de l'acide hydrofluorique (HF) en combinaison avec un acide oxydant concentré appelé Aqua regia (HNO<sub>3</sub>, HCl, 1 : 3, v/v) afin de les décomposer. A la fin de l'opération, les solutions d'échantillons ont été conservées dans des

flacons en polypropylène prénettoyés. Une solution étalon mère contenant 1g de métal par litre est préparée pour chacun des éléments à doser.

### 2.3. Traitement statistique des données

L'analyse statistique des données, les tracés de graphes sont réalisés en utilisant le logiciel Statistica 6 et le tableur Excel 2016. Une transformation logarithmique a été effectuée dans le but de réduire l'hétérogénéité de la variance observée au niveau des concentrations des différents échantillons et de mieux les représenter graphiquement. Afin de comparer les niveaux de contamination des métaux lourds étudiés au niveau des différents étangs piscicoles, un test F de Fisher Snedecor a permis de comparer la différence des moyennes entre les différents échantillons des différents points de prélèvement. Le test F est une méthode statistique assez commode pour comparer simultanément plusieurs moyennes. Suivant le principe général des problèmes de comparaison, on envisage l'hypothèse nulle où tous les échantillons appartiendraient à la même population et subissent la même contamination. Auquel cas, la variabilité de l'ensemble serait due à une influence réelle du facteur qui conduit à distinguer les différents groupes où elle peut simplement s'expliquer par les fluctuations d'échantillonnage. On distingue dans la dispersion totale de l'ensemble, la part due aux fluctuations individuelles à l'intérieur d'un groupe (variance intra-groupe) et celle qui revient aux fluctuations qui se produisent d'un groupe à l'autre (variance inter-groupe). La variance intra-groupe ou « within-variance » : c'est la variance à l'intérieur de chaque groupe, elle est dite encore variance résiduelle. Sa formule est :

$$V_A = \frac{1}{N - K} \sum (X_i - m_i)^2$$

N : nombre d'individus (nombre d'échantillon) ; K : nombre de groupes ;  $m_i$  : moyenne du groupe ;  $X_i$  : valeur individuelle ; Le degré de liberté de  $V_A$  est DDLA : N-K

$V_A$  traduit en fait la dispersion introduite dans l'ensemble par la dispersion à l'intérieur de chaque groupe. La variance inter-groupe ou « between-variance », dite encore dispersion factorielle, a pour formule :

$$V_B = \frac{1}{N - 1} \sum N(m_i - M)^2$$

N : nombre d'individu dans chaque groupe ;  $m_i$  : moyenne dans chaque groupe ; M : moyenne générale sur tous les groupes

$V_B$  traduit en fait la dispersion liée aux variations de groupe à groupe. Le test F est le rapport  $V_A/V_B$  ou  $V_B / V_A$  si  $V_B > V_A$  et à l'aide de la table de Snedecor, on détermine le seuil de signification de ce rapport au coefficient de sécurité (5%). Si le rapport est supérieur au seuil de signification, on doit rejeter l'hypothèse de la population unique ou homogène et admettre que les différences entre les moyennes sont significatives.

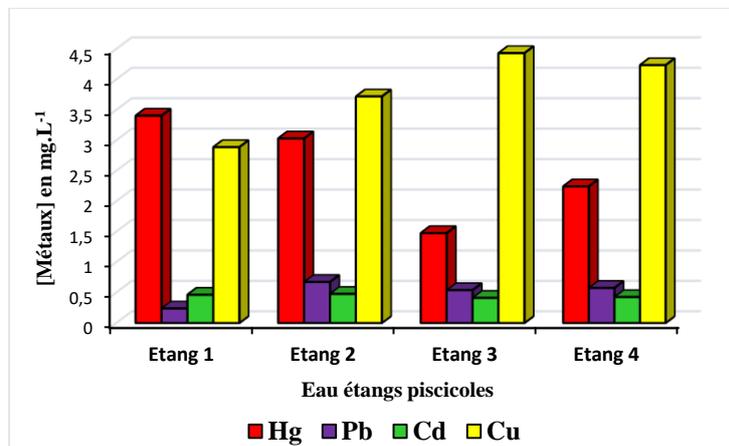
## **PARTIE III : RESULTATS DISCUSSIONS**

# 1. RESULTATS

## 1.1. Niveaux de concentration des métaux lourds des étangs piscicoles

### 1.1.1. Dans l'eau

Les résultats des niveaux de concentration des différents métaux lourds étudiés dosés dans l'eau des étangs piscicoles sont représentés par la Figure 12.



**Figure 12** : Niveau des concentrations moyennes de Pb, Hg, Cd, et Cu dans l'eau

Les histogrammes de la Figure 12 permettent d'observer que tous les métaux lourds recherchés dans le cadre de l'étude ont été tous détectés dans l'eau des différents étangs piscicoles à différents niveaux de concentration. On observe également, que le cuivre (Cu) et le mercure (Hg) sont les métaux les plus détectés dans les différentes eaux étudiées. Les concentrations maximales relevées dans les différents échantillons pour ces deux métaux sont respectivement  $5,039 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le mercure et  $5,191 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le cuivre. Cependant, les fourchettes de concentrations moyennes pour chaque polluant métallique dans les eaux des différents étangs piscicoles sont :

- Hg se trouve dans la fourchette de concentration moyenne [ $1,47 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $3,41 \text{ mg.L}^{-1}$ ];
- Pb se trouve se trouve dans la fourchette de concentration moyenne de [ $0,23 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $0,68 \text{ mg.L}^{-1}$ ];
- Cd se trouve se trouve dans la fourchette de concentration moyenne de [ $0,41 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $0,48 \text{ mg.L}^{-1}$ ];
- Cu se trouve se trouve dans la fourchette de concentration moyenne de [ $2,88 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $4,44 \text{ mg.L}^{-1}$ ].

En outre, l'examen des histogrammes de la Figure 12 révèle l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds dans les eaux d'étude qui est le suivant :

- **Etang 1** :  $[Hg] > [Cu] > [Cd] > [Pb]$  ; **Etang 2** :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$  ;
- **Etang 3** :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$  ; **Etang 4** :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$  ;

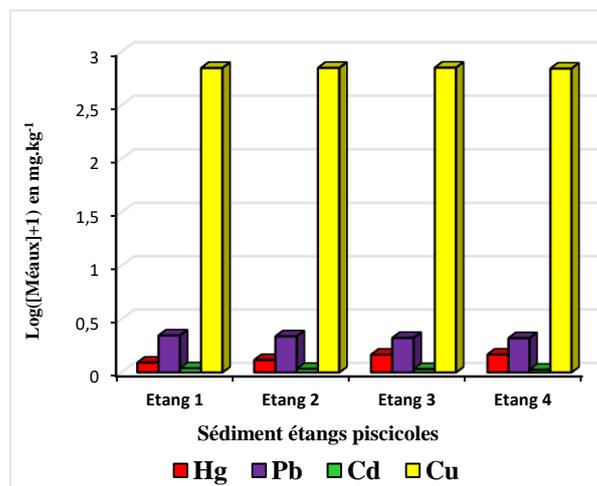
On détermine ainsi de manière générale pour les étangs piscicoles l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds qui est le suivant :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$ . Par ailleurs, l'analyse statistique des variances (test F de Fisher Snedecor) appliquées aux concentrations métalliques dans les différentes eaux des étangs piscicoles montre que les différences observées entre les niveaux de concentration des différents métaux (Hg et Cd) et leurs distributions dans les eaux ne sont pas significatives car le test F est inférieur au seuil de 5%. Cependant, la valeur calculée de F du test de Fisher montre que les différences observées entre les concentrations des métaux (Pb et Cu) dans les étangs sont significatives au seuil de 5% (Tableaux VII).

**Tableau VII** : Test F d'homogénéité des échantillons d'eau des étangs piscicoles

Métaux lourds	Hg	Pb	Cd	Cu
Degré de liberté de la variance A (D.D.L.A)	12,00	12,00	12,00	12,00
Degré de liberté de la variance B (D.D.L.B)	3,00	3,00	3,00	3,00
Variance $V_A$	1,90	0,033	$3,92 \cdot 10^{-3}$	0,54
Variance $V_B$	2,95	0,14	$3,87 \cdot 10^{-3}$	1,90
$F_{calculé}$	<b>1,55</b>	<b>4,29</b>	<b>1,01</b>	<b>3,51</b>
$F_{0,05}$	<b>3,49</b>	<b>3,49</b>	<b>8,74</b>	<b>3,49</b>
Observations	$F_{calculé} < F_{005}$ ; le F observé n'est pas significatif à 5%	$F_{calculé} > F_{005}$ ; <b>le F observé est significatif à 5%</b>	$F_{calculé} < F_{005}$ le F observé n'est pas significatif à 5%	$F_{calculé} > F_{005}$ ; <b>le F observé est significatif à 5%</b>

### 1.1.2. Dans les sédiments

Les résultats des niveaux de concentration des différents métaux lourds étudiés dosés dans les sédiments des étangs piscicoles sont représentés par la Figure.13.



**Figure 13** : Niveaux des concentrations moyennes de Pb, Hg, Cd, et Cu dans les sédiments

La Figure 13 montre que les métaux recherchés ont également tous été détectés dans les sédiments des différents étangs d'études. On remarque que le cuivre est le métal le plus accumulé dans les sédiments des étangs avec une concentration maximale moyenne

de 708,909  $mg.kg^{-1}$ . On note aussi une concentration élevée dans les différents étangs pour le Pb. Les concentrations maximales relevées dans les différents échantillons pour le Cu et le Pb sont respectivement 717,122  $mg.kg^{-1}$  et 2,406  $mg.kg^{-1}$ . Cependant, les fourchettes de concentrations moyennes pour chaque polluant métallique dans le sédiment des différents étangs piscicoles sont :

- Hg se trouve dans la fourchette des concentrations moyenne [0,235  $mg.kg^{-1}$  à 0,469  $mg.kg^{-1}$ ] ;
- Pb se trouve se trouve dans la fourchette des concentrations moyennes de [1,094  $mg.kg^{-1}$  à 1,220  $mg.kg^{-1}$ ] ;
- Cd se trouve se trouve dans la fourchette des concentrations moyennes de [0,060  $mg.kg^{-1}$  à 0,094  $mg.kg^{-1}$ ] ;
- Cu se trouve se trouve dans la fourchette des concentrations moyennes de [694,906  $mg.kg^{-1}$  à 708,909  $mg.kg^{-1}$ ].

En outre, l'examen des histogrammes de la Figure 13 révèle l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds dans les sédiments d'étude qui est le suivant :

- **Etang 1** :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$  ; **Etang 2** :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$  ;
- **Etang 3** :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$  ; **Etang 4** :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$  ;

En déterminant ainsi de manière générale pour les étangs piscicoles l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds est le suivant :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$ . Par ailleurs, l'analyse des variances statistiques (test F de Fisher Snedecor) appliquées aux concentrations métalliques dans les différents sédiments des étangs piscicoles montre que les différences observées entre les niveaux de concentration des différents métaux et leurs distributions dans les sédiments des étangs étudiés ne sont pas significatives car le test F est inférieur au seuil de 5% (Tableaux VIII).

**Tableau VIII** : Test F d'homogénéité des échantillons de sédiment des étangs piscicoles

Métaux lourds	Hg	Pb	Cd	Cu
Degré de liberté de la variance <b>A</b> (D.D.L.A)	12,00	12,00	12,00	12,00
Degré de liberté de la variance <b>B</b> (D.D.L.B)	3,00	3,00	3,00	3,00
Variance $V_A$	0,063	0,18	$9,41. 10^{-4}$	621,68
Variance $V_B$	0,010	0,43	$7,31. 10^{-4}$	492,37
$C_{calculé}$	<b>6,08</b>	<b>2,34</b>	<b>1,29</b>	<b>1,26</b>
$F_{0,05}$	<b>8,74</b>	<b>3,49</b>	<b>8,74</b>	<b>8,74</b>
Observation	$F > F_{005}$ ; le F observé n'est pas significatif à 5%			

## 1.2. Comparaison des concentrations avec les normes internationales

Les Tableaux IX et X présentent les différentes concentrations moyennes calculées respectivement dans l'eau et les sédiments des étangs piscicoles en comparaisons avec leur norme.

**Tableau IX :** Concentrations moyennes des métaux lourds et leur norme dans l'eau.

Métaux lourds	Concentration moyenne calculée (mg/L)				Norme en mg/L
	Etang 1	Etang 2	Etang 3	Etang 4	
Hg	3,406	3,031	1,476	2,244	0,001
Pb	0,239	0,675	0,54	0,576	0,01
Cd	0,465	0,479	0,413	0,426	0,003
Cu	2,888	3,721	4,432	4,235	0,002

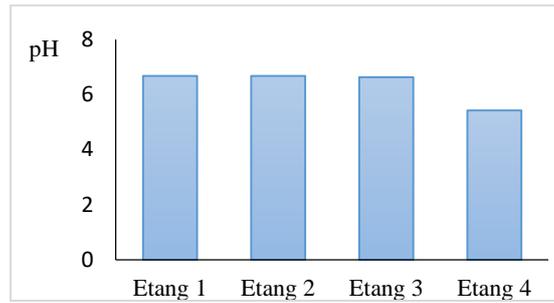
**Tableau X :** Concentrations moyennes des métaux lourds et leur norme dans les sédiments

Métaux lourds	Concentration moyenne calculée (mg/kg)				Norme en mg/kg
	Etang 1	Etang 2	Etang 3	Etang 4	
Hg	0,235	0,307	0,465	0,469	0,15
Pb	1,22	1,178	1,105	1,094	30
Cd	0,094	0,08	0,072	0,06	0,25
Cu	703,123	705,222	708,909	694,906	35

L'examen du Tableau IX révèle d'une part que dans les eaux des étangs les ETM (Hg, Pb, Cu Cd) ont des concentrations supérieures aux valeurs de la norme pour la Protection des Eaux et des Organismes Aquatiques. Par ailleurs, l'examen du Tableau X révèle d'autre part que dans les sédiments, les concentrations des ETM (Pb, Cd) étudiés sont inférieures à la norme. Quant aux éléments toxiques (Hg, Cu) qui ont des concentrations 20 fois supérieures à la norme.

## 1.3. Paramètres physico-chimiques du milieu des étangs piscicoles

La Figure 14 présente la variation du pH de l'eau des différents étangs piscicoles d'une part. Et, le Tableau VI présente les valeurs de quelques paramètres physico-chimiques (température, conductivité, oxygène dissous, TDS) des eaux de ces différents étangs d'autre part.



**Figure 14 :** Distribution de pH (dans les eaux) des étangs

**Tableau XI :** Quelques paramètres physico-chimiques des eaux des étangs

Paramètres physico-chimiques	T (°C)	Conductivité (µS/cm)	Taux saturation de l'oxygène dissout (%)	TDS (mg/L)
Etang 1	27,9	35,7	126,3	16,3
Etang 2	27,7	<b>78,7</b>	<b>139,3</b>	<b>39,3</b>
Etang 3	<b>28,8</b>	49,3	90,3	25,3
Etang 4	26,7	38,7	87,7	19,0

L'observation des histogrammes de la Figure 14 permet de noter que les valeurs du pH mesurées dans l'eau des étangs sont comprises entre 5,43 et 6,68. Ces résultats montrent en effet, que les eaux des étangs piscicoles sont acides. Sur l'ensemble des quatre étangs, les valeurs mesurées du pH sont sensiblement proches de 6,7 excepté le pH de l'eau de l'étang 4 où la valeur observée est proche de 5,4. Par ailleurs, l'examen du Tableau XI révèle les informations suivantes : les températures minimale et maximale moyenne sont respectivement 26,7°C et 28,8°C ; les conductivités moyenne appartiennent à l'intervalle [35,7 µS/cm; 78,7 µS/cm] et le taux de saturation de l'oxygène dissout moyenne se situe dans la tranche de valeurs de 87,7% à 139,3% ; et enfin les valeurs de TDS moyenne sont comprise entre 16,3 mg/L et 39,3mg/L. Sur les quatre étangs, les valeurs obtenues pour (l'étang 1, l'étang 3, l'étang 4) sont inférieures à la valeur minimale limite qui est de 50 µS/cm et la valeur obtenue pour l'étang 2 est supérieure à la valeur minimale limite. La plus grande valeur de la conductivité (78,7 µS/cm) a été relevée pour l'étang 2 et la plus faible pour l'étang 1. Les teneurs en oxygène dissout enregistrées dans les étangs sont inférieures à la valeur minimale critique qui est de 3mg/L. Ces valeurs oscillent entre 0,87 mg/L et 1,39 mg/L.

#### 1.4. Evaluation de la bioaccumulation des polluants métalliques dans les poissons de l'étang

Le tableau XII présente les valeurs des indices de géo-accumulation (Igeo) des métaux dans les différents étangs. Cet indice permet d'évaluer la pollution du sédiment des étangs par les métaux lourds.

**Tableau XII :** Valeurs des indices de géo-accumulation (Igeo) des métaux dans les étangs

Echantillons	Valeurs Igeo			
	Hg	Pb	Cd	Cu
Etang 1	3,48	-2,39	1,32	7,07
Etang 2	4,02	-2,26	0,79	7,03
Etang 3	3,63	-1,90	0,81	7,01
Etang 4	3,94	-2,79	0,90	7,02

L'analyse du Tableau XII nous révèle que le sédiment de tous les étangs piscicoles présente une intensité de pollution de classe 3 et 6 respectivement pour Hg et Cu. Quant au Pb et au Cd, les intensités de pollution sont respectivement de classe 0 et 1. La classe des intensités de pollution permet donc de déduire l'état de contamination des sédiments. En effet, les valeurs de Igeo trouvées pour le Hg dans le sédiment des différents étangs sont toutes comprises entre 3 et 5 ( $3 < I_{geo} < 5$ ) donc on a une forte contamination. Celles calculées pour le Cu dans les différents sédiments sont également toutes supérieures à 7. On en déduit que la contamination du sédiment des étangs piscicoles par le cuivre est extrême. Cependant, les valeurs déterminées de l'Igeo pour le plomb (Pb) sont toutes négatives ce qui permet de dire qu'il n'y a pas de pollution du sédiment par le plomb (Pb). Par ailleurs, on observe une légère contamination ( $0 < I_{geo} < 1$ ), voire une contamination modérée (étang 1, avec  $1 < I_{geo} < 2$ ) du sédiment des différents étangs par Cd.

## 2. DISCUSSION

La reproduction, chez la plupart des espèces en milieu aquatique est possible pour des valeurs de pH se situant entre 6 et 7,2 ; au-delà de pH = 9, il y a mortalité pour de nombreuses espèces (Zongo, 1993). En outre les valeurs du pH mesurées dans l'eau des étangs sont comprises entre 5,43 et 6,68. Ces résultats montrent en effet, que les eaux des étangs piscicoles sont acides. Sur l'ensemble des quatre étangs, les valeurs mesurées du pH sont sensiblement proches de 6,7. Cette acidité s'expliquerait par la qualité du substrat de ces étangs. En effet, selon Faurie (2011), le pH des eaux continentales est lié à la structure du sol. D'après cet auteur, le pH des eaux

continentales est inférieur à 7 avec un sol non calcaire dont la capacité d'échange cationique est essentiellement constituée d'ions  $H^+$ . Dans l'étang 4 la valeur observée du pH est proche de 5,4. Cela corrobore les travaux de Meybeck *et al.* (1996). D'après cet auteur la diminution du pH dans cet étang s'expliquerait également par l'effet de dilution provoquée par les pluies. En effet l'eau ( $H_2O$ ) produite par les pluies peut réagir avec les ions ammonium  $NH_4^+$  n'ayant pas été transformés en nitrites et nitrates selon, l'équation bilan suivante :  $NH_4^+ + H_2O \leftrightarrow NH_3 + H_3O^+$ . Les ions hydronium  $H_3O^+$  produits vont renforcer l'acide du milieu, diminuant ainsi le pH. Cette diminution du pH, comme l'ont signalé Konan *et al.* (2008), Yacoub *et al.* (2008) et Qaouiyid *et al.* (2016) peut aussi être provoquée par la forte nitrification (transformation de l'azote ammoniacal en nitrates) des étangs pendant cette saison. En effet, la nitrification entraîne la diminution du pH dans le milieu à cause de la consommation du carbone inorganique  $H_2CO_3$  (Alex, 2016). Enfin, le lessivage des acides organiques en provenance de la végétation en décomposition pourrait également être à la base de ce constat. Les résultats obtenus montrent que les températures minimale et maximale moyenne sont respectivement  $26,7^\circ C$  et  $28,8^\circ C$  supérieures à la norme de l'OMS qui est de  $25^\circ C$ . Cela s'explique par le fait que les mesures ont été effectuées en plein soleil entre 11h et 15h. Toutefois, ces températures, selon l'ANRH de la république d'Algérie (2012), ne présentent aucun danger pour les êtres aquatiques. La température des eaux reste élevée dans tous les étangs étudiés particulièrement dans l'étang 3 ( $28,8^\circ C$ ). Ces valeurs élevées s'expliquent par le degré d'insolation et la faible profondeur des étangs (Lemoalle, 2006). Pour une saison donnée, les valeurs de température sont peu variables d'un étang à l'autre. Le même constat est fait par Akatumbila *et al* (2016) dans l'étude de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa et par Rahmouni (2016) dans l'étude de la lagune de Korba en Tunisie. La différence entre ces valeurs s'expliquerait par la situation géographique, l'exposition au soleil et la profondeur du niveau de l'eau de chaque étang. L'étude de la conductivité nous a montré que les conductivités moyenne appartiennent à l'intervalle [ $35,7 \mu S/cm$ ;  $78,7 \mu S/cm$ ]. L'augmentation de la conductivité peut être liée au faible débit de ces étangs, confirmant ainsi les résultats obtenus par Qaouiyid, *et al*, (2016). Cette augmentation pourrait également être le fait des fortes évaporations atmosphériques (Lamri et Belghyti, 2011). Par contre les valeurs minimales enregistrées pourraient être attribuées aux précipitations qui ont entraîné un phénomène de dilution de ces eaux, diminuant ainsi la teneur des sels dissous, donc de la conductivité. Ce phénomène est aussi observé par Normand-Marleau (2007) dans l'étude des eaux de surface au Québec (Canada) et par Doubi *et al.* (2013) lors de l'étude physico-chimique de l'Oued Moulouya et un affluent au niveau de la région d'Outat el Haj au Maroc. Par ailleurs, les valeurs élevées de la conductivité et des TDS observées au niveau de

l'étang 2 serait le résultat d'une entrée massive de matières terrigènes transportées par les eaux de ruissellement (Coulibaly, 2013). Selon Beaux (1998), une eau est dite polluée si sa teneur en oxygène dissous est inférieure à 3 mg/L. En s'appuyant sur cette affirmation, la qualité en termes d'oxygène dissous des étangs peut être jugée polluée dans l'ensemble. Le faible taux d'oxygène dissous enregistré au niveau de l'étang 4 est dû au faible débit de renouvellement des eaux. Les différentes concentrations en ETM détectées dans les sédiments et l'eau des étangs montrent le niveau de concentration des ETM dans les différentes zones de prélèvement. Ces ETM proviendraient non seulement de la nature du sol. Le cuivre et le mercure présentent les concentrations les plus élevées. Ces forts taux de cuivre et de mercure peuvent s'expliquer par l'utilisation régulière d'herbicides et de pesticides dans les plantations (cultures maraîchères) aux alentours des fermes (Obasohan *et al.* 2006). En effet, tous les étangs ont à proximité des plantations de cultures maraîchères, de maïs, de banane, de manioc, et d'igname qui constituent des sources probables de contamination des milieux en métaux lourds avec l'utilisation d'engrais et des produits phytosanitaires (Koffi *et al.*, 2014). Cette étude révèle la présence de métaux lourds dans les eaux de tous les étangs échantillonnés. Le mercure et le cuivre présentent les concentrations les plus élevées. Ces forts taux de mercure et de cuivre peuvent s'expliquer par l'utilisation régulière d'herbicides et de pesticides dans les plantations aux alentours des étangs (Obasohan *et al.*, 2006). Aussi, l'étude a-t-elle indiqué qu'il n'existe aucune différence significative pour le mercure et le cadmium contrairement au plomb et le cuivre où il existe une différence significative de 5%. La contamination du sédiment et de l'eau des étangs par les différents métaux lourds étudiés serait liée à l'effet, encore persistant, des apports en eaux usées brutes d'origine domestique et agricole issus du village de Gbokora et des habitations environnantes. Les valeurs de l'indice Igeo montrent effectivement une forte intensité de la pollution du sédiment des étangs piscicoles par Hg et Cu. Ce résultat montre que ces deux métaux présenteraient des risques du fait de leur présence et de leur forte accumulation. En effet, la source de prolifération de ces métaux serait dû aux activités proches des étangs. Certains travaux, tels que ceux de Obasohan *et al.* (2006) et ceux de Koffi *et al.*, (2014) corroborent cette assertion du fait que l'utilisation des produits phytosanitaires serait des sources de polluants organiques et inorganiques notamment Cu et Hg. En outre l'intensité de pollution de classe 0 et 1 du Pb et du Cd du sédiment des étangs se justifierait par le fait que ceux-ci sont situés loin du trafic routier, des activités industrielles de la ville de Daloa. La comparaison des différentes concentrations moyennes des métaux étudiés dans l'eau à celles de la norme en vigueur dans l'eau montre que les eaux des différents étangs piscicoles présentent des teneurs en métaux supérieures à la limite autorisée. Cette situation présenterait donc un

danger pour les organismes aquatiques du milieu (poisson). En effet, ces étangs qui seront utilisés pour l'élevage des poissons pourraient les contaminés. La toxicité des métaux étant dépendante de sa spéciation, alors les métaux sous leur forme d'ions libres dans la phase dissoute vont donc souiller ces derniers par bioaccumulation. Aussi, la comparaison des teneurs moyennes de métaux dans le sédiment à la norme a permis de constater que seulement le mercure (Hg) et le cuivre (Cu) présentent des teneurs au-delà du seuil recommandé.

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET  
PERSPECTIVES**

L'objectif de l'étude est d'évaluer la contamination métallique de l'eau et du sédiment d'étangs à production piscicoles, les travaux de ce mémoire ont porté sur la détermination du niveau de la concentration du Hg, du Pb, du Cd et du Cu dans l'eau et le sédiment des étangs piscicoles ciblés, puis de déterminer des paramètres physico-chimiques qui influencent l'accumulation de ces métaux dans les différentes matrices ciblées et enfin de déterminer l'intensité de pollution par le calcul de l'indice de géoaccumulation. Ainsi, les résultats ont montré que tous les métaux détectés (Hg, Pb, Cd, Cu) dans l'eau des étangs piscicoles ont toutes des concentrations supérieures à la norme fixée par l'OMS. L'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds dans l'eau de ces étangs est le suivant :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$ . Par ailleurs, au niveau du sédiment seuls le mercure (Hg) et le cuivre (Cu) présentent des teneurs supérieures à la norme OMS fixée. Ainsi, l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds dans le sédiment est le suivant :  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$ . Ici, les métaux étudiés sont plus concentrés dans les eaux que dans les sédiments. Leur présence est susceptible de mettre en péril la vie aquatique et la santé humaine.

En termes de recommandation au vu des résultats atteints, nous estimons qu'il serait pertinent de :

- respecter les limites de 100 mètres sur le contour des étangs par les maraichers car notre enquête révèle que les maraichers ont leurs parcelles situées moins de 100m du lit des barrages ce qui peut être des sources de pollution lors de la montée des eaux sur ces parcelles et entraîner l'ensablement des étangs ;
- inciter les agriculteurs à choisir les produits efficaces et moins polluants

En perspectives, plusieurs axes de recherches peuvent être définies en vue d'améliorer la qualité du milieu aquatique des étangs étudiés. Laquelle qualité va donc avoir un impact bénéfique sur la productivité de ces étangs piscicoles d'une part. Mais aussi, avoir un impact sur la santé des consommateurs d'autre part. Ainsi, comme axes de recherche, nous pourrions définir :

- de faire une étude sur la variation saisonnière des paramètres physico-chimique influençant la distribution des métaux sur une année ;
- de mettre en œuvre un dispositif de traitement de l'eau qui entre dans les différents étangs par la méthode d'adsorption sur charbon actif à partir de biomasse végétale et combiné à une chaîne filtrante en amont des étangs. Une étude cinétique d'élimination des polluants métalliques sera faite pour déterminer la performance d'élimination de l'adsorbant ;
- de faire une étude sur l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux liés à l'exposition des métaux étudiés dans l'ingestion des poissons de ces étangs..

## **REFERENCE**

- Adriano D.C. (2001). Trace éléments in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York, 236p.
- AFEE. (1975). Synthèse bibliographique effectuée avec le concours du Bureau National de l'information Scientifique et Technique (B.N.I.S.T). Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. 103p.
- AFEE. (1976). Synthèse bibliographique effectuée avec le concours du Bureau National de l'information Scientifique et Technique (B.N.I.S.T). Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. 132p.
- AFEE. (1978). Synthèse bibliographique effectuée avec le concours du Bureau National de l'information Scientifique et Technique (B.N.I.S.T). Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. 118p.
- AFEE. (1979). Synthèse bibliographique effectuée avec le concours du Bureau National de l'information Scientifique et Technique (B.N.I.S.T). Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. 198p.
- Akatumbila L., Mabiala M., Lubini A., Pwema K. & Musibono E. A. (2016). Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa / République Démocratique du Congo. *Larhyss Journal*, Vol. 12, p. 7-29.
- Alex L. A. (2016). Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, R. D. Congo. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 242 p.
- ANRH. (2012). L'état et qualité des eaux des barrages en Algérie. 355p.
- Arris S. (2008). Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous-produits de céréales Thèse de doctorat de l'université de Constantine- Algérie. 190p
- ATSDR. (1990). Toxicological profile for silver. Public Health Service, U.S.A, 157 p.
- ATSDR. (1999). Toxicological Profile for Mercury. In ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, [En ligne]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf> (Page consultée le 14 janvier 2012).
- ATSDR. (2004). Toxicological Profile for Copper. In ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, [En ligne]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf> (Page consultée le 17 janvier 2021).
- Aurelien G. et Géraldine D. (2008). La connaissance des Eléments Traces Métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. *Air Pur* N°75. 5p.

- Bachasson B. (1997). *Mise en valeur des étangs* 2nd éd. Paris. Editions Tec et Doc Lavoisier, 176 p.
- Baize, D. (1997) *Teneurs totales en éléments trace métalliques dans les sols (France) Références et stratégies d'interprétation*. INRA éditions, Paris, 410 p.
- Banas D. (1997). *Incidence des piscicultures extensives du bassin versant de Lindre*. Mémoire de DEA en Sciences Agronomiques de l'Université de Metz, Metz (France), 27 p.
- Beaux J.F. (1998). *L'environnement repères pratiques*. Nathan, pp. 64-71.
- Benedetto D. M. (1997). *Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractère*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Sainte Etienne, axe Génie des procédés, 49 p.
- Bliefert C., Ebel H.F. et William E. (2004). *The Art of Scientific Writing: From Student Reports to Professional Publications in Chemistry and Related Fields*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim, Allemagne, 608 p.
- Bouin N. (2002). *Reconnaissance et valorisation des étangs de production piscicole en région Pays de la Loire-rapport de DESS*, université de Metz, 63 p.
- Brignon, J.M. (2005). *Cadmium et ses dérivés. Rapport final sur les données technico-économiques sur les substances chimiques- INERIS*, France, 25p.
- Bruland, K.W., Lohan, M.C. (2003). *Controls of trace metals in seawater*. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on geochemistry*, vol 6. Elsevier Pergamon, 23–47.
- Campbell P. (1995). *Interactions between trace metals and aquatic organisms: A critique of the free-ion activity model*. In: « *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems* ». Tessier A. and Turner D.R. Eds. Chichester, John Wiley and Sons. pp. 45-102.
- Chen C.Y., Stemberger R.S., Klaue B., Blum J.D., Pickhardt C., Folt C.L. (2000). *Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes*. *Limnol. Oceanogr*, 45 (7) : pp. 1525-1536.
- Coulibaly S. (2013). *Bioaccumulation des métaux lourds et effets biologiques induits chez Saratherodon melanotheron rüppell, 1852 pêché dans la Baie de Bietri en Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan. 302p.
- Da Silva N.J.R., Beuret J.E., Mikolasek O., Fontenelle G., Dabbadie L., Lazard J., Martins M. I. E. G. (2009). *Dynamiques du développement de la pisciculture dans les deux régions du Brésil : une approche comparée*. *Cah Agric.*, 18 (2/3), 284-291.
- Dabbadie L. (1996). *Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrant dans le Centre –Ouest de la Côte d'Ivoire : Approche du réseau trophique*. Thèse de Doctorat en Océanographie de l'Université Paris 6, Paris (France), 244p.

- Dameron C. et Howe P.D. (1998). Copper Environmental Health criteria n°200, World Health Organization. Geneva. 65p.
- Doubi M., Dermaj A., Ait H. B., Chebabe D., Erramli, H., Hajjaji N. & Abdellah S. A. (2013). Contribution à l'étude physico-chimique de l'Oued Moulouya et un affluent au niveau de la région d'Oued et Haj. *Larhiss Journal*, n°16, pp. 91-104.
- FAO. (2014). Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. Rome (Italie): <http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?ds=Aquaculture&k1=COUNTRY&k1v=1&k1s=107&outtype=html>, consulté le 19 - 01 - 2021.
- Flores-Rodriguez, J. (1992). Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain- Caractéristiques physico-chimiques. Thèse de doctorat de l'Université de Paris XII. 229p.
- Gaillardet, J., Viers, J., Dupré, B. (2003). 5.09 - Trace Elements in River Waters, in: Editors-in-Chief: Heinrich, D.H., Karl, K.T. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*. Pergamon, Oxford, pp. 225-272.
- GDS. (2002) Sous-direction de la gestion des risques des milieux : Les effets du plomb sur la santé, Paris. 44p.
- Gigleux M. (1992). Le développement phytoplanctonique dans la Moselle en aval de Metz et dans la seille. Thèse Doctorat en Sciences de la vie - Spécialité Hydrobiologie, Université de Metz, Metz (France) ,147 p.
- Gilbert, S. (2010). A Small Dose of Toxicology. In *Toxipedia. Toxipedia*, [En ligne]. <http://www.toxipedia.org/download/attachments/6009323/Chapter+11+Metals.ED2.10.09.10.pdf> (Page consultée le 11 février 2021).
- Haguenoer J.M. et Furon D. (1982). Toxicologie et hygiène industrielles. Les dérivés minéraux, 2e partie. Paris, Technique et documentation, Tome II.
- Hashmia M.I., Mustafa S. et Tariq S.A. (2002). Heavy metal concentrations in water and tiger prawn (*Penaeus monodon*) from grow-out farms in Sabah, North Borneo. *Food Chem.*, Vol.79, N°2, pp. 151–156.
- Hem, J.D. (1972). Chemistry and occurrence of cadmium and zinc in surface water and ground water. *Water Resources Research*, 8 : pp. 661-679.
- HSDB. (2000). Plomb. Hazardous Substances Data bank, national library of Medicine. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>.
- Huynh T.M.D. (2009). Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat, Université Paris Est (Paris, France), 169 p

- INERIS. (2011). Proposition de norme de qualité environnementale : Lambda-cyhalothrine (91465-08-6). 17p.
- INERIS. (2003). Plomb et ses dérivés ; fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, version n°2 - 1/2003 ; 90p.
- Kabata P.A. et Pendias. H. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC Press, third Edition, Boca Raton (USA), 432 p.
- Kargin F., Donmez A. et Çogun H.Y. (2001). Distribution of heavy metals in different tissues of the shrimp *Penaeus semiculatus* and *Metapenaeus monocerus* from the Iskenderun Gulf, Turkey: seasonal variations. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol.66, pp. 102–109.
- Koffi K.M., S. Coulibaly, B.C. Atsé et E.P. Kouamelan. (2014). Survey of heavy metals concentrations in water and sediments of the estuary Bietri bay, Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire. *Int. J. Res. Earth. Environ, Sci.* 1 (3) : pp. 1 - 10.
- Konan Kouakou Séraphin, Aka Marcel Kouassi, Amma Antoinette Adingra, B. K. Dongui, & Dago Gnakri. (2008). Variations saisonnières des paramètres abiotiques des eaux d'une lagune tropicale : la lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. (*European Journal of Scientific research*) 21 p. N° 3, N° ISSN 1450-216X.
- Lamri D. et Belghyti D. (2011). Bio-évaluation de la qualité des eaux par application des indices biotiques : cas de l'Oued Moulouya (Maroc). ScienceLib, Editions Mersenne : Volume 3, N° 110905.
- Lauwerys R. (1990). Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 3è Ed. Masson, pp. 198 - 228
- Le Louarn H. et Bertru G. (1991). *Influence des élevages intensifs en étang sur les rivières* *Revue des sciences de l'eau*, 4 : pp. 315-327
- Lemoalle J. 2006. La diversité des milieux aquatiques. *In* : Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme (Eds.). IRD, Paris, 230 p.
- Li, Y.-H., Burkhardt, L. et Teraoka, H. (1984). Desorption and coagulation of trace elements during estuarine mixing. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(10) : 1879-1884.
- Lin M. C. 2009. Risk assessment on mixture toxicity of arsenic, zinc and copper intake from consumption of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal), cultured using contaminated groundwater in southwest Taiwan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 83 : 125 - 129.

- Liu, J., Goyer, R. A. and Waalkes, M. P. (2008). Toxic Effects of Metals. In Casarett, L. J. et Doull, J., *Casarett and Doull's toxicology : the basic science of poisons*. Chap. 23, pp. 931-979. New York, The McGraw-Hill Companies.
- Loué. A. (1993). Oligo-éléments en agriculture. Edition Nathan, France, 339 p.
- Lum, R.R. (1987). Cadmium in freshwaters: the Great Lakes and St. Lawrence River. In : J.O. Nriagu et J.B. Sprague (Eds.), *Cadmium in the Aquatic Environment*. Wiley, New York, pp. 35-50.
- Mckenzie A.B. (1997). Isotope evidence of the relative retention and mobility of lead, and radiocesum in swttish ombrophic peats. *The science of the total environment journal*, 203 : pp. 115-127.
- Meshram L.N., Udawant S.M., Pawar S. & Mishra P.S. (2014). Bioaccumulation of heavy metals (Zn, Pb, Cd, and Ni) in tissues of *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) from India. *International Journal of Advanced Research*, Vol.2, N°3, pp. 548-555.
- Meybeck M., Friedrich G., Thomas R., Chapman D. & Rivers. (1996). Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2 ed. E and FN Spon, London.
- Miquel G. (2001). Office Parlementaire D'évaluation Des Choix Scientifiques Et Technologiques. Rapport Sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, France, 365 p.
- Morlot M. (1996). AGHTM Aspects analytiques du plomb dans l'environnement, Ed lavoisier TEC & DOC.
- Mudipalli A. (2007). Lead hepatotoxicity and potential health effects. *Indian J Med Res* 126 : pp. 518-527
- Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: pp. 109-118.
- Navas-Acien A., Guallar E., Silbergeld E.K. and Rothenberg S.J. (2007). Lead exposure and cardiovascular disease--a systematic review. *Environ Health Perspect* 115 : pp. 472-482.
- Ndome C.B., Ekaluo U.B et Asuquo F.E. (2010). Comparative bioaccumulation of heavy metals (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd and Cr) by some edible aquatic molluscs from the Atlantic Coastline of South Eastern Nigeria. *Journal of Fish and Marine Sciences*, Vol.2, N°4, pp. 317-321.

- Newman M. et Jagoe C. (1994). Ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. In: « Bioavailability - Physical, Chemical, and biological interactions ». Hamelin J.L.L., P.F. Bergman, H.L. Benson, W.H. Ed. USA, Lewis Pub. Inc. p 39-61.
- Normand-Marleau M. (2007). Application de la spectrophotométrie ultraviolette à la caractérisation d'eau naturelle du Québec. Mémoire de Grade de Maitre en Environnement, Université de Sherbrooke, Québec, 125 p.
- Obasohan E.E., Oronsayeand J.A.O. et Obano E.E. (2006). Heavy metal concentrations in *Malapterurus electricus* and *Chrysichthysni grodigitatus* from Ogba River in Benin City. *Afr. J. Biotechnol*, 5: pp. 974 - 982.
- O'Donnel J., Kaplan B. et Allen H. (1985). Bioavailability of trace metals in natural waters. 7th Symposium: Aquatic Toxicology and Hazard assessment, Philadelphia, ASTM.
- Okocha R.C. et Adedeji O.B. (2011). Heavy metal concentrations in prawns (*Macrobrachium Vollenhovenii*) and Water from Asejire River Southwestern Nigeria. *Advances in Environmental Biology*, Vol.5, N°6, pp. 1359-1363
- Peter G.G., Pinel A.B. et Amyot M. (1994). Abiotic and seasonal factors influencing trace metals levels (Cd, Cu, Ni, Pb) in the fresh water amphipod *Gammarus fasciatus* in two fluvial lakes of St Lawrence River, Can. J. Fish Aquat. Sci.51pp 2003-2016.
- Picot A. (2002). Expert européen de toxicologie. Le trio mercure, plomb, cadmium. Les métaux lourds : de grands toxiques.
- Qaouiyid A., Hmima H., Hourri K., Saad E. H. et Mohamed F. (2016). Les teneurs métalliques et paramètres physico-chimiques de l'eau et du sédiment d'Oued Beth, au niveau de Sidi Kacem et de Oued R'dom au niveau de Sidi Slimane. *European Scientific Journal*, vol. 12, N°24, pp. 186-211.
- Rahmouni R., Bouden S., Oueslati W., Sbei A. et Chaabani F. (2016). Les Algues indicatrices de l'eutrophisation et de la contamination de la lagune de Korba (Cap Bon Tunisie). *European Scientific Journal*, vol.12, N°17, pp. 149-172.
- Ramade F. (1979). Ecotoxicologie Masson S. A., Paris, France, 227p.
- Reddy M.S., Mehta B., Dave S., Joshi M., Karthikeyan L., Sarma V.K.S., Basha S., Ramachandraiah G. et Bhatt O. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in some commercial fishes and crabs of the Gulf of Cambay, India. *Current Science*, Vol.92, pp.1489-1491.
- RGPH. (2019). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Résultats globaux, 22 p.

- Robin J., Wezel A., Bornette G., Arthaud F., Angélibert S., Rosset V., Oertli B. (2014). Biodiversity in eutrophicated shallow lakes: determination of tipping points and tools for monitoring. *Hydrobiologia*, 723 : 63–75.
- Said M.I.M., Sabri S., Azman S. et Muda K. (2013). Arsenic, Cadmium and Copper in Gastropod *Strombus canarium* in Western Part of Johor Straits. *World Applied Sciences Journal*, Vol.23, N°6, pp. 734-739.
- Schlumberger O. (2002). Mémento de la pisciculture d'étang, 4e édition. CEMAGREF (Ed), Montpellier (France), 237 p.
- Schwartz M.F., Boyd C.E. (1994). Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed ponds-progress. *Fish Cult.*, 56, pp. 25-32.
- Tamassia S.T.J. (2011). Indicadores técnico-econômicos para o gerenciamento do modelo alto vale do itajaí de piscicultura integrada (MAVIPI). Tese em Aquicultura do Centro de Aquicultura da da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), São Paulo, Brésil, 230 p.
- Tessier A., Campbel P.G.C. et Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Analytical Chemistry*, Vol.51, N°7, pp. 844-851.
- Thomas S. (2000). Les différents producteurs d'un petit barrage tropical Africain : Dynamiques et Interactions (Brobo, Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Océanologie Biologie et Environnement Marin de l'Université de Paris 6, Paris (France), 246 p.
- Weiss D., Shotyck W. et Kempf O. (1999). Archives of Atmospheric Lead Pollution. NaturWissenschaften. Mémoire de magister de l'université de Tlemcen-Algérie.
- Wezel A., Oertli B., Rosset V., Arthaud F., Leroy B., Smith R., Angélibert S., Bornette G., Vallod D., Robin J. (2013). Biodiversity patterns of nutrient-rich fish ponds and implications for conservation. *Limnology*, 15 : pp. 213–223.
- Wilfart A., Prudhomme J., Blancheton J.P., Aubin J. (2010). LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological intensification. *Journal of Environmental Management*, 121 : 96–109.
- Yacoub I., Aka M. K., Dongui B. K. et Biemi J. (2008). Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Cote d'Ivoire). *Afrique Science* 04(3), ISSN 1813-548X, pp. 368-393.
- Zachariadis J. A., Sratis J. A., Kaniou A. et Kalligas G. (2005). Critical comparison of wet and dry digestion procedures of trace metal analysis of meat and fish tissues. *Mikrochim.* Vol.119, pp. 191-198.

Zongo F. (1993). Contribution à l'étude du phytoplancton d'eau douce du Burkina Faso-Cas du barrage n° 3 d'Ouagadougou. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Ouagadougou., 170 p.

## RESUME

Les travaux de recherche de ce mémoire ont permis de déterminer l'intensité de pollution métallique de l'eau et du sédiment de quatre étangs piscicoles localisés dans la ville de Daloa. Pour ce faire, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés dans ces étangs en vue du dosage du Hg, Pb, Cd et Cu au spectrophotomètre d'Absorption atomique. Les résultats d'analyse de ces échantillons que la qualité des eaux des différents étangs piscicoles est influencée par la variation des paramètres physico-chimiques et que ces eaux sont vulnérables à la pollution organique et inorganique. Par ailleurs, ces résultats ont aussi révélé que le Cu ( $5,039 \text{ mg.L}^{-1}$ ) et le Hg ( $5,191 \text{ mg.L}^{-1}$ ) sont les métaux les plus accumulés dans les eaux, tandis que dans les sédiments ce sont plutôt le Cu ( $708,909 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et le Pb ( $1,22 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Ainsi, l'ordre d'accumulation préférentielle des métaux lourds dans l'eau de ces étangs est le suivant :  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$ . Celui des sédiments est  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$ . Quelle que soit la matrice d'étude, le Cu est le métal le plus prédominant. Les valeurs de l'indice  $I_{\text{geo}}$  montrent effectivement une forte intensité de la pollution du sédiment des étangs piscicoles par Hg et Cu. Ce résultat montre que ces deux métaux présenteraient des risques du faite de leur présence et de leur forte accumulation.

**Mots clés :** Métaux lourds, Pollution métallique, Etangs piscicoles, Indice de géo-accumulation.

## ABSTRACT

The research work of this thesis made it possible to determine the metal pollution intensity of the water and the sediment of four fish ponds located in the town of Daloa. To do this, samples of water and sediment were taken from these ponds for the determination of Hg, Pb, Cd and Cu with the atomic absorption spectrophotometer. The results of the analysis of these samples show that the water quality of the different fish ponds is influenced by the variation of the physicochemical parameters and that these waters are vulnerable to organic and inorganic pollution. In addition, these results also revealed that Cu ( $5,039 \text{ mg.L}^{-1}$ ) and Hg ( $5,191 \text{ mg.L}^{-1}$ ) are the metals most accumulated in water, while in the sediments it is rather Cu ( $708,909 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) and Pb ( $1,22 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Thus, the order of preferential accumulation of heavy metals in the water of these ponds is as follows:  $[Cu] > [Hg] > [Pb] > [Cd]$ . That of sediments is  $[Cu] > [Pb] > [Hg] > [Cd]$ . Regardless of the study matrix, Cu is the most predominant metal. The values of the  $I_{\text{geo}}$  index indeed show a high intensity of the pollution of the

**Keywords :** Heavy metals, Metallic pollution, Fish ponds, Geo-accumulation index.