



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE  
**UFR AGROFORESTERIE**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

-----

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2024-2025

N° D'ORDRE : 154

CANDIDAT

Nom : EHUI

Prénom : Edi Jean Fréjus

# THESE DE DOCTORAT

**Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale**

**Spécialité : Microbiologie et Sécurité  
Alimentaire**

**Pathogènes microbiens et contaminants chimiques  
du poisson, des eaux et des sédiments issus des  
étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra  
(Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)**

## JURY

**Président : M. KONATE Ibrahim, Professeur Titulaire, Université Jean  
LOROUGNON GUÉDÉ**

**Directeur : M. KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences, Université  
Jean LOROUGNON GUÉDÉ**

**Rapporteur : M. COULIBALY Bakary, Maître de Conférences, Université Jean  
LOROUGNON GUÉDÉ**

**Rapporteur : Mme AKA Solange épouse GBEZO, Maître de Conférences,  
Université NANGUI ABROGOUA**

**Examineur : M. YAO Konan Mathurin, Maître de Conférences, Université  
Peleforo GON COULIBALY**

**Examineur : Mme BLEI Sika Hortense épouse DAO, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ**

**Soutenue publiquement  
le : 11 / 09 / 2025**



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE  
**UFR AGROFORESTERIE**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

-----

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2024-2025

N° D'ORDRE : 154

CANDIDAT

Nom : EHUI

Prénom : Edi Jean Fréjus

Soutenue publiquement  
le : 11 / 09 / 2025

# THESE DE DOCTORAT

**Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale**

**Spécialité : Microbiologie et Sécurité  
Alimentaire**

**Pathogènes microbiens et contaminants chimiques  
du poisson, des eaux et des sédiments issus des  
étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra  
(Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)**

## JURY

Président : M. KONATE Ibrahim, Professeur Titulaire, Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ

Directeur : M. KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences, Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ

Rapporteur : M. COULIBALY Bakary, Maître de Conférences, Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ

Rapporteur : Mme AKA Solange épouse GBEZO, Maître de Conférences, Université NANGUI ABROGOUA

Examineur : M. YAO Konan Mathurin, Maître de Conférences, Université Peleforo GON COULIBALY

Examineur : Mme BLEI Sika Hortense épouse DAO, Maître de Conférences, Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ

---

**TABLE DES MATIERES**

|                                                                                  | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| TABLE DES MATIERES.....                                                          | i     |
| DEDICACE .....                                                                   | xi    |
| REMERCIEMENTS .....                                                              | xii   |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....                                           | xv    |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                                         | xviii |
| LISTE DES FIGURES .....                                                          | xx    |
| LISTE DES ANNEXES .....                                                          | xxii  |
| INTRODUCTION .....                                                               | 1     |
| PREMIERE PARTIE : GENERALITES .....                                              | 5     |
| 1. PISCICULTURE.....                                                             | 6     |
| 1.1. Définition .....                                                            | 6     |
| 1.2. Historique de la pisciculture en Côte d’Ivoire .....                        | 6     |
| 1.3. Types de piscicultures .....                                                | 7     |
| 1.3.1. Pisciculture de "production".....                                         | 7     |
| 1.3.2. Pisciculture de "transformation" .....                                    | 7     |
| 1.3.2.1. Pisciculture extensive.....                                             | 7     |
| 1.3.2.2. Pisciculture semi-intensive .....                                       | 8     |
| 1.3.2.3. Pisciculture intensive .....                                            | 8     |
| 1.3.2.4. Pisciculture super intensive.....                                       | 8     |
| 1.4. Pisciculture intégrée à l’agriculture.....                                  | 9     |
| 1.4.1. Présentation générale.....                                                | 9     |
| 1.4.2. Types de pisciculture intégrée et avantages .....                         | 10    |
| 1.5. Etangs piscicoles .....                                                     | 10    |
| 1.5.1. Etangs en dérivation .....                                                | 11    |
| 1.5.2. Etangs barrage .....                                                      | 11    |
| 1.6. Importance des étangs .....                                                 | 12    |
| 1.6.1. Etangs et alimentation humaine .....                                      | 12    |
| 1.6.2. Etangs et économie.....                                                   | 12    |
| 1.7. Principales espèces de poisson des étangs piscicoles en Côte d’Ivoire ..... | 13    |

|            |                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.1.     | <i>Heterotis niloticus</i> .....                                | 13 |
| 1.7.2.     | <i>Clarias gariepinus</i> .....                                 | 14 |
| 1.7.3.     | <i>Oreochromis niloticus</i> .....                              | 15 |
| 1.8.       | Qualité nutritionnelle du poisson .....                         | 17 |
| 2.         | MICROBIOLOGIE DU POISSON, L'EAU D'ÉTANG ET DU SEDIMENT .....    | 17 |
| 2.1.       | Microbiologie du poisson .....                                  | 17 |
| 2.1.1.     | Microflore des poissons .....                                   | 17 |
| 2.1.2.     | Contamination microbiologique du poisson .....                  | 18 |
| 2.2.       | Microbiologie de l'eau .....                                    | 18 |
| 2.3.       | Microbiologie des sédiments .....                               | 19 |
| 2.4.       | Potentiels pathogènes du poisson, de l'eau et du sédiment ..... | 19 |
| 2.4.1.     | <i>Staphylococcus aureus</i> .....                              | 19 |
| 2.4.1.1.   | Historique .....                                                | 19 |
| 2.4.1.2.   | Habitat .....                                                   | 19 |
| 2.4.1.3.   | Caractères bactériologiques .....                               | 20 |
| 2.4.1.4.   | Caractères biochimiques et enzymatiques .....                   | 20 |
| 2.4.1.5.   | Pathogénicité et impact sur la santé des consommateurs .....    | 21 |
| 2.4.1.6.   | Facteurs de virulence .....                                     | 22 |
| 2.4.1.6.1. | Composants de la paroi .....                                    | 22 |
| 2.4.1.6.2. | Protéines de surface .....                                      | 22 |
| 2.4.1.6.3. | Composants sécrétés .....                                       | 22 |
| 2.4.1.6.4. | Toxines .....                                                   | 23 |
| 2.4.2.     | <i>Escherichia coli</i> .....                                   | 25 |
| 2.4.2.1.   | Historique .....                                                | 25 |
| 2.4.2.2.   | Habitat .....                                                   | 25 |
| 2.4.2.3.   | Caractères bactériologiques .....                               | 26 |
| 2.4.2.4.   | Caractères biochimiques .....                                   | 26 |
| 2.4.2.5.   | Pathogénicité et impact sur la santé des consommateurs .....    | 27 |
| 2.4.2.6.   | Facteurs de virulence .....                                     | 28 |
| 2.4.2.7.   | Résistance physico-chimique .....                               | 29 |

|          |                                                                    |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.3.   | <i>Salmonella</i> .....                                            | 29 |
| 2.4.3.1. | Historique.....                                                    | 29 |
| 2.4.3.2. | Habitat.....                                                       | 30 |
| 2.4.3.3. | Caractères bactériologiques .....                                  | 30 |
| 2.4.3.4. | Caractères biochimiques et enzymatiques .....                      | 31 |
| 2.4.3.5. | Pouvoir pathogène de <i>Salmonella</i> .....                       | 31 |
| 2.4.4.   | <i>Enterococcus</i> spp.....                                       | 32 |
| 2.4.4.1. | Historique.....                                                    | 32 |
| 2.4.4.2. | Habitat.....                                                       | 32 |
| 2.4.4.3. | Caractéristiques bactériologiques .....                            | 33 |
| 2.4.4.4. | Caractéristiques biochimiques .....                                | 33 |
| 2.4.4.5. | Pathogénicité de <i>Enterococcus</i> .....                         | 34 |
| 2.5.     | Etude phénotypique des microorganismes .....                       | 34 |
| 2.5.1.   | Morphologie des microorganismes .....                              | 34 |
| 2.5.2.   | Caractéristiques biochimiques.....                                 | 35 |
| 2.6.     | Antibiorésistance .....                                            | 35 |
| 2.6.1.   | Antibiotiques .....                                                | 35 |
| 2.6.2.   | Classification des antibiotiques.....                              | 35 |
| 2.6.3.   | Mode d'action des antibiotiques .....                              | 37 |
| 2.6.4.   | Résistance aux antibiotiques .....                                 | 37 |
| 2.6.4.1. | Résistances naturelles .....                                       | 37 |
| 2.6.4.2. | Résistances acquises .....                                         | 38 |
| 2.6.5.   | Mécanisme de résistance aux antibiotiques .....                    | 38 |
| 2.7.     | Etude moléculaire des microorganismes.....                         | 38 |
| 2.7.1.   | Extraction du matériel génétique.....                              | 39 |
| 2.7.2.   | Amplification par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) ..... | 39 |
| 2.7.3.   | Séquençage.....                                                    | 39 |
| 3.       | CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DES ETANGS.....         | 40 |
| 3.1.     | Température .....                                                  | 40 |
| 3.2.     | Potentiel d'hydrogène .....                                        | 40 |

|          |                                                                                 |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.     | Oxygène dissous.....                                                            | 41 |
| 3.4.     | Turbidité .....                                                                 | 41 |
| 3.5.     | Matières en suspension.....                                                     | 41 |
| 4.       | CONTAMINANTS CHIMIQUES DU POISSON, DE L'EAU DES ETANGS ET DES SEDIMENTS .....   | 42 |
| 4.1.     | Contaminants inorganiques ou Eléments Traces Métalliques.....                   | 42 |
| 4.2.     | Principaux Eléments Trace Métalliques du poisson, l'eau et du sédiment .....    | 43 |
| 4.2.1.   | Arsenic .....                                                                   | 43 |
| 4.2.1.1. | Sources de l'Arsenic .....                                                      | 43 |
| 4.2.1.2. | Effets de l'Arsenic sur la santé .....                                          | 43 |
| 4.2.1.3. | Seuil à risque.....                                                             | 44 |
| 4.2.2.   | Cadmium .....                                                                   | 44 |
| 4.2.2.1. | Sources du Cadmium .....                                                        | 44 |
| 4.2.2.2. | Effets du Cadmium sur la santé .....                                            | 44 |
| 4.2.2.3. | Seuil à risque.....                                                             | 44 |
| 4.2.3.   | Plomb .....                                                                     | 45 |
| 4.2.3.1. | Sources du Plomb .....                                                          | 45 |
| 4.2.3.2. | Effets du Plomb sur la santé.....                                               | 45 |
| 4.2.3.3. | Seuil à risque.....                                                             | 46 |
| 4.2.4.   | Mercure .....                                                                   | 46 |
| 4.2.4.1. | Sources du Mercure .....                                                        | 46 |
| 4.2.4.2. | Effets du Mercure sur la santé.....                                             | 47 |
| 4.2.4.3. | Seuil à risque.....                                                             | 47 |
| 4.3.     | Contaminants chimiques organiques.....                                          | 47 |
| 4.3.1.   | Résidus de pesticides.....                                                      | 47 |
| 4.3.2.   | Classification des pesticides .....                                             | 48 |
| 4.3.2.1. | Classement par cible .....                                                      | 48 |
| 4.3.2.2. | Classement des pesticides selon la nature chimique des substances actives ..... | 49 |
| 4.3.3.   | Principaux usages et rôle des pesticides.....                                   | 49 |
| 4.3.4.   | Effets toxiques des pesticides.....                                             | 50 |

|                                              |                                                                 |    |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.4.1.                                     | Dynamique et impact environnementaux des pesticides .....       | 50 |
| 4.3.4.2.                                     | Effets des pesticides sur la santé humaine .....                | 51 |
| 4.3.4.3.                                     | Effets des pesticides sur la biodiversité .....                 | 52 |
| 4.3.5.                                       | Marché des pesticides.....                                      | 52 |
| 4.3.6.                                       | Résidus de pesticides.....                                      | 53 |
| 4.3.6.1.                                     | Atrazine .....                                                  | 53 |
| 4.3.6.2.                                     | Dérivés de l'urée.....                                          | 54 |
| 4.3.6.3.                                     | Chloroacétamide .....                                           | 55 |
| 4.3.6.4.                                     | Carbamates.....                                                 | 55 |
| 4.3.6.5.                                     | Organophosphorés .....                                          | 56 |
| 4.3.6.6.                                     | Dicarboximides .....                                            | 57 |
| 4.4.                                         | Etude des contaminants chimiques .....                          | 57 |
| 4.4.1.                                       | Chromatographie .....                                           | 58 |
| 4.4.2.                                       | Spectrométrie de Masse (SM) .....                               | 59 |
| DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES ..... |                                                                 | 60 |
| 1.                                           | ZONE D'ETUDE .....                                              | 61 |
| 2.                                           | MATERIEL.....                                                   | 62 |
| 2.1.                                         | Matériel biologique .....                                       | 62 |
| 2.2.                                         | Matériel de terrain .....                                       | 62 |
| 2.3.                                         | Matériel de laboratoire .....                                   | 62 |
| 2.3.1.                                       | Matériel d'analyses microbiologiques et biochimiques .....      | 62 |
| 2.3.2.                                       | Matériel d'analyses moléculaires .....                          | 64 |
| 2.3.3.                                       | Matériel d'analyses chimiques .....                             | 65 |
| 3.                                           | METHODES .....                                                  | 66 |
| 3.1.                                         | Mission exploratoire.....                                       | 66 |
| 3.2.                                         | Enquêtes de terrain .....                                       | 67 |
| 3.3.                                         | Echantillonnage .....                                           | 67 |
| 3.4.                                         | Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau d'étangs ..... | 67 |
| 3.5.                                         | Mode de prélèvement des échantillons .....                      | 67 |
| 3.6.                                         | Distribution et transport des échantillons.....                 | 68 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7. Etudes microbiologiques .....                                                     | 69 |
| 3.7.1. Préparation des milieux de culture .....                                        | 69 |
| 3.7.2. Préparation des échantillons.....                                               | 69 |
| 3.7.3. Préparation des solutions mères .....                                           | 69 |
| 3.7.4. Dilution décimale .....                                                         | 70 |
| 3.7.5. Techniques d'analyses.....                                                      | 70 |
| 3.7.5.1. Ensemencement, incubation et lecture.....                                     | 70 |
| 3.7.5.1.1. Recherche et dénombrement de <i>Enterococcus</i> ssp.....                   | 70 |
| 3.7.5.1.2. Recherche et dénombrement de <i>Escherichia coli</i> .....                  | 70 |
| 3.7.5.1.3. Recherche et dénombrement de <i>Staphylococcus</i> ssp.....                 | 71 |
| 3.7.5.1.4. Recherche de <i>Salmonella</i> .....                                        | 71 |
| 3.7.5.2. Calcul du nombre de microorganismes.....                                      | 71 |
| 3.7.5.3. Purification et conservation des souches bactériennes .....                   | 72 |
| 3.7.5.4. Test de confirmation des souches .....                                        | 72 |
| 3.7.5.4.1. Test morphologique (Coloration de Gram) .....                               | 72 |
| 3.7.5.4.2. Recherche des enzymes respiratoires .....                                   | 73 |
| 3.7.5.5. Tests biochimiques de confirmation de <i>Staphylococcus</i> .....             | 73 |
| 3.7.5.5.1. Recherche de la DNase .....                                                 | 73 |
| 3.7.5.5.2. Fermentation du mannitol.....                                               | 73 |
| 3.7.5.6. Test de confirmation de <i>E. coli</i> et <i>Salmonella</i> .....             | 73 |
| 3.7.5.6.1. Test d'urée indole .....                                                    | 74 |
| 3.7.5.6.2. Ensemencement du Milieu Kligler Hajna .....                                 | 74 |
| 3.7.5.6.3. Ensemencement du milieu Mannitol Mobilité .....                             | 74 |
| 3.7.5.6.4. Ensemencement du milieu Lysine Fer.....                                     | 74 |
| 3.7.5.6.5. Ensemencement du milieu Citrate de Simmons .....                            | 75 |
| 3.7.6. Détermination des gènes de virulences des souches .....                         | 75 |
| 3.7.6.1. Extraction d'ADN des germes isolés par la méthode de phénol-chloroforme ..... | 75 |
| 3.7.6.2. Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR).....                               | 76 |
| 3.7.6.2.1. Préparation et composition du mélange réactionnel.....                      | 76 |
| 3.7.6.2.2. Amplification des gènes de virulence.....                                   | 77 |

|                                                                                                                               |                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7.6.2.3.                                                                                                                    | Electrophorèse .....                                                          | 78 |
| 3.7.6.2.4.                                                                                                                    | Visualisation des bandes amplifiées .....                                     | 78 |
| 3.7.7.                                                                                                                        | Tests d'antibiogrammes (méthode de diffusion).....                            | 79 |
| 3.7.7.1.1.                                                                                                                    | Préparation de la gélose et de l'inoculum.....                                | 79 |
| 3.7.7.1.2.                                                                                                                    | Ensemencement .....                                                           | 79 |
| 3.7.7.1.3.                                                                                                                    | Pose des disques et Pré diffusion des antibiotiques et incubation .....       | 79 |
| 3.7.7.1.4.                                                                                                                    | Lecture et interprétation.....                                                | 79 |
| 3.8.                                                                                                                          | Analyses chimiques.....                                                       | 80 |
| 3.8.1.                                                                                                                        | Dosage des résidus de pesticides.....                                         | 80 |
| 3.8.1.1.                                                                                                                      | Dosage des résidus de pesticides dans l'eau d'étangs.....                     | 80 |
| 3.8.1.1.1.                                                                                                                    | Prétraitement des échantillons .....                                          | 80 |
| 3.8.1.1.2.                                                                                                                    | Extraction et Purification.....                                               | 80 |
| 3.8.1.2.                                                                                                                      | Dosage des résidus de pesticides dans les sédiments.....                      | 80 |
| 3.8.1.2.1.                                                                                                                    | Extraction.....                                                               | 80 |
| 3.8.1.2.2.                                                                                                                    | Purification .....                                                            | 81 |
| 3.8.1.3.                                                                                                                      | Dosage des résidus de pesticides dans le tilapia .....                        | 81 |
| 3.8.1.3.1.                                                                                                                    | Extraction.....                                                               | 81 |
| 3.8.1.3.2.                                                                                                                    | Purification .....                                                            | 81 |
| 3.8.1.4.                                                                                                                      | Analyse Instrumentale .....                                                   | 82 |
| 3.8.2.                                                                                                                        | Détermination des Eléments Traces Métalliques .....                           | 84 |
| 3.8.2.1.                                                                                                                      | Minéralisation des échantillons.....                                          | 84 |
| 3.8.2.2.                                                                                                                      | Dosage des Eléments Traces Métalliques.....                                   | 84 |
| 4.                                                                                                                            | Traitement des données et analyses statistiques.....                          | 84 |
| 4.1.                                                                                                                          | Estimation de l'intensité de la contamination .....                           | 84 |
| 4.2.                                                                                                                          | Calcul du facteur de bioconcentration (FBC).....                              | 85 |
| 4.3.                                                                                                                          | Analyses statistiques .....                                                   | 85 |
| TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....                                                                               |                                                                               | 87 |
| I : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES ETANGS PISCICOLES DE LA REGION DU HAUT-SASSANDRA ET LE PROFIL DE LEURS PRODUCTEURS ..... |                                                                               | 88 |
| 1.                                                                                                                            | RESULTATS .....                                                               | 88 |
| 1.1.                                                                                                                          | Groupements et géolocalisation des pisciculteurs dans le Haut-Sassandra ..... | 88 |

|                                                                                                                                    |                                                                                                                             |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.2.                                                                                                                               | Profil sociodémographique des pisciculteurs dans le Haut-Sassandra.....                                                     | 88  |
| 1.3.                                                                                                                               | Pratique de la pisciculture dans le Haut-Sassandra .....                                                                    | 89  |
| 1.3.1.                                                                                                                             | Systèmes de production piscicoles .....                                                                                     | 89  |
| 1.3.2.                                                                                                                             | Types d'étangs piscicoles et leur répartition dans le Haut-Sassandra.....                                                   | 90  |
| 1.3.3.                                                                                                                             | Activités associées à la pisciculture .....                                                                                 | 91  |
| 1.3.4.                                                                                                                             | Activités environnantes des fermes piscicoles .....                                                                         | 91  |
| 1.3.5.                                                                                                                             | Espèces de poisson élevées dans les étangs piscicoles du Haut-Sassandra .....                                               | 92  |
| 1.3.6.                                                                                                                             | Pratiques alimentaires et sanitaires .....                                                                                  | 92  |
| 1.4.                                                                                                                               | Difficultés du pisciculteur .....                                                                                           | 93  |
| 2.                                                                                                                                 | DISCUSSION .....                                                                                                            | 94  |
| 3.                                                                                                                                 | CONCLUSION PARTIELLE.....                                                                                                   | 96  |
| II : CONTAMINANTS MICROBIENS DES POISSONS, DES EAUX ET DES SEDIMENTS<br>DES ETANGS PISCICOLES DE LA REGION DU HAUT-SASSANDRA ..... |                                                                                                                             | 98  |
| 1.                                                                                                                                 | RESULTATS .....                                                                                                             | 98  |
| 1.1.                                                                                                                               | Contaminants microbiens du tilapia des étangs piscicoles.....                                                               | 98  |
| 1.2.                                                                                                                               | Contaminants microbiens de l'eau des étangs piscicoles.....                                                                 | 99  |
| 1.3.                                                                                                                               | Contaminants microbiens des sédiments des étangs piscicoles .....                                                           | 100 |
| 1.4.                                                                                                                               | Corrélations entre les contaminants microbiens du tilapia, de l'eaux et des sédiments<br>des étangs piscicoles.....         | 102 |
| 1.5.                                                                                                                               | Caractéristiques phénotypiques des isolats .....                                                                            | 103 |
| 1.5.1.                                                                                                                             | Prévalence des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, l'eau et le<br>sédiment issus des étangs barrage .....        | 103 |
| 1.5.2.                                                                                                                             | Prévalence des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, l'eau et le<br>sédiment issus des étangs en dérivation .....  | 104 |
| 1.6.                                                                                                                               | Profil antibiorésistant des souches étudiées .....                                                                          | 105 |
| 1.7.                                                                                                                               | Caractéristiques moléculaires des souches étudiées.....                                                                     | 108 |
| 1.7.1.                                                                                                                             | Facteurs de virulences des pathogènes microbiens issus du tilapia provenant des<br>étangs en dérivation.....                | 108 |
| 1.7.2.                                                                                                                             | Facteurs de virulences des contaminants microbiens issus du tilapia, l'eau et le<br>sédiment issus des étangs barrages..... | 109 |
| 1.8.                                                                                                                               | Caractéristiques physico-chimiques des eaux des étangs de la région du Haut-<br>Sassandra .....                             | 111 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.9. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau d'étangs et les contaminants biologiques du tilapia, l'eau d'étangs et du sédiment .....       | 112 |
| 2. DISCUSSION .....                                                                                                                                              | 113 |
| 3. CONCLUSION PARTIELLE .....                                                                                                                                    | 116 |
| III : CONTAMINANTS CHIMIQUES DU POISSON TILAPIA, DE L'EAU DES ETANGS ET DES SEDIMENTS ET RISQUES LIES A LA CONSOMMATION DU TILAPIA ISSU DE LA PISCICULTURE ..... | 117 |
| 1. RESULTATS .....                                                                                                                                               | 117 |
| 1.1. Contaminants en Eléments Traces Métalliques du tilapia, de l'eau des étangs et des sédiments piscicoles de la région du Haut-Sassandra .....                | 117 |
| 1.2. Comparaison des teneurs moyennes des ETM avec les normes en vigueur .....                                                                                   | 118 |
| 1.2.1. Comparaison des teneurs moyennes des ETM dans le tilapia avec les normes                                                                                  | 118 |
| 1.2.2. Comparaison des teneurs moyennes d' ETM de l'eau des étangs aux normes                                                                                    | 119 |
| 1.2.3. Comparaison des teneurs moyennes d' ETM des sédiments avec les normes.                                                                                    | 120 |
| 1.3. Facteurs d'accumulation des ETM dans le poisson tilapia, l'eau des étangs et des sédiments des étangs piscicoles.....                                       | 122 |
| 1.4. Corrélations entre les Eléments Traces Métalliques du tilapia, l'eau des étangs et des sédiments .....                                                      | 122 |
| 1.5. Teneurs moyennes des résidus de pesticides dans le tilapia .....                                                                                            | 123 |
| 1.6. Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles .....                                                               | 126 |
| 1.7. Teneurs moyennes des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs piscicoles... ..                                                                   | 126 |
| 1.7.1. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans le tilapia aux normes                                                                              | 131 |
| 1.7.2. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans les eaux des étangs aux normes .....                                                               | 131 |
| 1.7.3. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans les sédiments avec les normes .....                                                                | 132 |
| 1.8. Facteurs de Bioconcentration des résidus de pesticides environnementaux dans les poissons .....                                                             | 133 |
| 1.9. Corrélations entre les résidus de pesticides du tilapia, des eaux des étangs et des sédiments piscicoles .....                                              | 134 |
| 1.10. Corrélations entre les contaminants chimiques et biologiques du Tilapia, des eaux des étangs et des sédiments .....                                        | 135 |
| 2. DISCUSSION .....                                                                                                                                              | 136 |

---

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 3. CONCLUSION PARTIELLE..... | 139 |
| CONCLUSION GENERALE .....    | 142 |
| REFERENCES .....             | 145 |
| ANNEXES.....                 | 170 |

## **DEDICACE**

*Je dédie ce document à mon petit frère feu EHUI Amanaman Innocent Parfait.*

*EHUI Amanaman, notre innocent parfait,*

*Chaque jour sans toi est un rappel de ta lumière qui brillait si intensément dans nos vies. Ton sourire, ta gentillesse et ta joie resteront à jamais gravés dans nos cœurs. Tu es et resteras toujours notre étoile, guidant nos pas avec amour et tendresse.*

*Repose en paix, cher frère. Tu nous manques profondément.*

## REMERCIEMENTS

Au cours de ma formation, j'ai appris qu'un travail scientifique est la fédération de l'effort de plusieurs personnes. J'adresse donc mes remerciements aux autorités de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE et toutes les personnes ressources qui ont aidé à la réalisation de cette Thèse.

A Madame la Présidente de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE (UJLoG), Professeur ADOHI Krou Viviane, Professeur Titulaire de Physique Atomique et Nucléaire, je vous remercie pour avoir autorisé notre inscription en thèse au sein de l'Université. Je vous remercie aussi pour les initiatives et la bonne gouvernance de notre Université.

A Monsieur le Vice-Président de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE en charge de la Pédagogie et de la Vie Universitaire, Professeur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire en Agro-Pédologie, j'exprime ma gratitude pour les réformes académiques entreprises pour notre formation et pour votre écoute attentive à nos préoccupations.

A Monsieur le Vice-Président de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE en charge de la Recherche, de l'Innovation Technologique et des relations extérieures, Professeur KONE Issiaka, Professeur Titulaire en Socio-Anthropologie, je vous remercie pour la facilitation des activités de recherche au sein de notre institution.

A Monsieur le Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, Dr KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire, également Directeur de cette Thèse, je vous adresse mes vifs remerciements. Vous m'avez fait un grand honneur et une grande confiance en acceptant la direction de cette thèse. Votre expérience pratique, vos qualités d'homme de principe et votre exigence pour le travail bien fait forcent l'admiration de tous. Ces qualités sont pour moi des exemples que je garderai tout au long de mon cursus. Merci, Cher Maître, de m'avoir accueilli au sein de votre équipe et d'avoir réuni toutes les conditions pour le bon déroulement de cette thèse. J'ai été fier de travailler avec vous. Les mots ne sauraient exprimer toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à votre égard.

A Monsieur le Directeur du Laboratoire d'Agro-valorisation de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, Professeur BEUGRE Grah Avit Maxwell, Professeur Titulaire de Biochimie, je vous exprime ma gratitude pour vos conseils et vos encouragements qui ont servi dans la réalisation de ce travail.

---

A Monsieur KONATE Ibrahim, Professeur Titulaire de Microbiologie et Biologie Moléculaire à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, Président du jury de cette thèse, c'est un grand honneur que vous nous faites en présidant ce jury de thèse malgré vos nombreuses occupations.

A Monsieur COULIBALY Bakary, Maître de Conférences en Biochimie et Microbiologie à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, Rapporteur de cette Thèse, je vous remercie pour votre contribution à l'amélioration de la qualité de ce document.

A Madame AKA Solange épouse GBEZO, Maître de Conférences en Biotechnologie et Microbiologie des Aliments à l'Université Nangui ABROGOUA, Rapporteur de cette thèse, je vous adresse mes sincères remerciements pour l'amélioration du contenu de cette thèse.

A Monsieur YAO Konan Mathurin, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire à l'Université Peleforo GON COULIBALY, Examineur de la thèse, je vous exprime ma gratitude pour votre contribution à la qualité du document final.

A Madame BLEI Sika Hortense épouse DAO, Maître de Conférences en Biochimie à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, Examineur de cette thèse, je vous suis reconnaissant pour votre contribution à la qualité du document final.

A Monsieur le Chef du Département de Biochimie-Microbiologie, Dr DIOMANDE Massé, Maître de Conférences de Biochimie et Technologie des Aliments, je vous dis merci pour votre grand soutien. Merci, Docteur pour tout ce que vous faites en faveur des étudiants. Qu'Allah vous le rende au centuple.

A Monsieur le Responsable de filière Biotechnologie et Biosécurité Agroalimentaire, Dr NIABA Koffi Pierre Valery, Maître de Conférences de Biochimie/Nutrition, je vous remercie pour vos conseils et votre disponibilité.

A Monsieur le Responsable du Parcours Biotechnologie et Biosécurité Agroalimentaire, Dr KOUASSI Kra Athanase, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire, je vous remercie pour vos conseils, votre disponibilité et surtout votre promptitude à résoudre les problèmes. Vous déployez des efforts pour nous permettre de travailler dans de bonnes conditions, mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance.

A Docteur EHOUMAN Ano Guy Serge et à son épouse N'DA Akoua Agnès, je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien inestimable dans la réalisation de cette Thèse. Votre soutien moral, financier et spirituel a été essentiel à mon parcours. Merci pour

votre générosité et votre encouragement, qui m'ont permis de surmonter les défis et d'atteindre mes objectifs.

Aux enseignants du département de Biochimie-Microbiologie, je tiens à vous remercier pour la qualité de la formation et les conseils durant ma formation. Un merci particulier au Professeur ANGAMAN Djedoux Maxime et aux Docteurs VOKO Bi Rosin Don Rodrigue, KOKO Anauma Casimir, OUINA Toualy Serge thibaut et ZEBRE Constant Athur.

A mon père EHUI Edit et à ma mère YEBOUA Manou, Je vous exprime ma profonde gratitude pour votre soutien. Quoi que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon frère AMANAMAN Koffi Hervé et à mes sœurs EHUI Ya Marie et EHUI Adjo Marie Victoire, je vous dis merci pour vos soutiens tant fraternels que matériel.

Aux pisciculteurs et particulièrement aux présidents ZUNON Sahara, ZIKA Alberic, SORO Karim et MAREGA Checkna, Je tiens à vous exprimer ma gratitude pour la bonne collaboration tout au long de cette étude.

A monsieur le chef de service du Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA), KONAN N'Guessan Marcel, je vous dis merci pour la bonne collaboration lors des analyses toxicologiques.

A monsieur AHI Ayemou Armand, Ingénieur des techniques de Contrôle Qualité au service de toxicologie du Laboratoire National de Santé Publique (LNSP), Je t'exprime ma gratitude pour ton soutien.

Aux doctorants DOGOUA Koko Guillaîne Jostasie, FOFANA Ousmane, KOUAME Aya Bah Marie Christelle, KOUASSI Adingra Gustave, N'GBADJO Tanon Virginie, GBOAZO Ybo Marc, KOUASSI Assienin Sylvain ainsi que les étudiants BROU N'Guessan Grâce, TOTO Koffi Akissi Ruth et DJANGORAN Gnoan Avola Hélène, je vous dis infiniment merci pour la bonne collaboration tout le long de cette étude et pour tous ces moments vécus ensemble.

A KACOU Okran Beyosse Christophe, je te dis particulièrement merci pour ton soutien de toute nature et pour ton suivi lors de mes premiers pas dans les analyses moléculaires et l'analyse de données.

Je ne saurais terminer sans remercier tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu d'une manière ou d'une autre durant mes études et dans la rédaction du présent document.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

|         |                                                                                                                                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AF2P-CI | : Appui à la Filière et à la Profession Piscicoles en Côte d'Ivoire                                                             |
| AGMI    | : Acide Gras Mono-Insaturés                                                                                                     |
| AGPI    | : Acides Gras Poly-Insaturés                                                                                                    |
| APDRA   | : Association pour le Développement de la Pisciculture Rural en Afrique                                                         |
| Aw      | : Activité de l'eau                                                                                                             |
| BPF     | : Bonnes Pratiques de Fabrication                                                                                               |
| Br      | : Bore                                                                                                                          |
| Cd      | : Cadmium                                                                                                                       |
| CE      | : Conductivité Electrique                                                                                                       |
| CH      | : Colite Hémorragique                                                                                                           |
| CILSS   | : Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel                                                      |
| CPG     | : Chromatographie en Phase Gazeuse                                                                                              |
| CPL     | : Chromatographie en Phase Liquide                                                                                              |
| CSP     | : Comité Sahélien des Pesticides                                                                                                |
| Cu      | : Cuivre                                                                                                                        |
| DES     | : Dose Sans Effet                                                                                                               |
| DJA     | : Dose Journalière Admissible                                                                                                   |
| DJT     | : Dose Journalière Tolérable                                                                                                    |
| DRf     | : Doses de Référence                                                                                                            |
| ECD     | : Détecteur à Capture d'Electrons                                                                                               |
| EFSA    | : European Food Safety Authority (Autorité européenne de sécurité des aliments)                                                 |
| EHEC    | : <i>Escherichia coli</i> entérohémorragique                                                                                    |
| EPEC    | : <i>Escherichia coli</i> entéropathogène                                                                                       |
| ETEC    | : <i>Escherichia coli</i> entérotoxinogène                                                                                      |
| ETM     | : Eléments Traces Métalliques                                                                                                   |
| FAO     | : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) |
| FDA     | : Food and Drug Administration (Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux)                                   |
| FTU     | : Formazin Turbidity Unit                                                                                                       |

---

|         |                                                                                                                                                                    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HAP     | : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques                                                                                                                          |
| Hg      | : Mercure                                                                                                                                                          |
| INERIS  | : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques                                                                                                   |
| JICA    | : Agence Japonaise de Coopération Internationale                                                                                                                   |
| KCN     | : Cyanure de potassium                                                                                                                                             |
| LMR     | : Limite Maximale de Résidus                                                                                                                                       |
| LMRE    | : Limites Maximales de Résidus de pesticides d'origine Etrangère                                                                                                   |
| MES     | : Matières En Suspension                                                                                                                                           |
| MIRAH   | : Ministère des Ressources Animales et Halieutiques République de Côte d'Ivoire                                                                                    |
| Mn      | : Manganèse                                                                                                                                                        |
| MSCRAMM | : Microbial Surface Components Recognising Adhesive Matrix Molecules<br>(composants de la surface microbienne reconnaissant les molécules adhésives de la matrice) |
| NOAEL   | : No Observed Adverse Effect Level                                                                                                                                 |
| NTU     | : Néphelométric Turbidity Unit                                                                                                                                     |
| OMS     | : Organisation Mondiale de la Santé                                                                                                                                |
| OPM     | : Organismes Pathogènes Microbiens                                                                                                                                 |
| PCB     | : Polychlorobiphényle                                                                                                                                              |
| PCDD    | : Polychlorodibenzodioxines                                                                                                                                        |
| PCDF    | : Polychlorodibenzofuranes                                                                                                                                         |
| PCR     | : Polymerase Chain Reaction (Réaction de Polymérisation en Chaîne)                                                                                                 |
| pH      | : Potentiel Hydrogène                                                                                                                                              |
| PREPICO | : Projet de Relance de la Pisciculture Continentale                                                                                                                |
| PSTACI  | : Programme Stratégique de Transformation de l'Aquaculture en Côte d'Ivoire                                                                                        |
| PTT     | : Purpura Thrombotique Thrombocytopénique                                                                                                                          |
| SA      | : Superantigènes                                                                                                                                                   |
| SERAM   | : Secretable Expanded Repertoire Adhesive Molecules                                                                                                                |
| SHT     | : Toxines Synergohymenotropes                                                                                                                                      |
| SHU     | : Syndrome Hémolytique et Urémique                                                                                                                                 |
| STEC    | : <i>Escherichia coli</i> productrices de shigatoxines                                                                                                             |
| TA      | : Acides Téichoïques                                                                                                                                               |
| TIAC    | : Toxi Infections Alimentaire Collective                                                                                                                           |

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| UFC  | : Unité Formant Colonie               |
| VTEC | : Vérotoxines                         |
| VTR  | : Valeurs Toxicologiques de Référence |
| Zn   | : Zinc                                |

---

**LISTE DES TABLEAUX**

|                                                                                                                                                    | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tableau I: Quelques caractéristiques des différents systèmes de production piscicole .....                                                         | 9     |
| Tableau II : Caractéristiques biochimiques de <i>Staphylococcus aureus</i> .....                                                                   | 21    |
| Tableau III : Enzymes sécrétés par <i>S. aureus</i> et leurs rôles .....                                                                           | 23    |
| Tableau IV : Toxines produites par <i>S. aureus</i> .....                                                                                          | 24    |
| Tableau V : Caractères biochimiques de <i>E. coli</i> .....                                                                                        | 27    |
| Tableau VI : Familles d'antibiotiques et leurs sites d'action .....                                                                                | 37    |
| Tableau VII : Antibiotiques testés sur les souches bactériennes.....                                                                               | 64    |
| Tableau VIII : Séquences nucléotidiques des gènes de virulence et de résistance recherchés                                                         | 65    |
| Tableau IX : Composition du mélange réactionnel pour la recherche de gènes <i>gelE</i> .....                                                       | 76    |
| Tableau X : Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes <i>stX1</i> et <i>stX2</i> ..                                           | 76    |
| Tableau XI: Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes <i>invA</i> et <i>spvC</i>                                              | 77    |
| Tableau XII: Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes <i>seA</i> - <i>seE</i> .....                                          | 77    |
| Tableau XIII : Programmes d'amplification des gènes étudiés .....                                                                                  | 78    |
| Tableau XIV : Conditions analytiques au HPLC .....                                                                                                 | 82    |
| Tableau XV : Résidus de pesticides recherchés .....                                                                                                | 83    |
| Tableau XVI: Sociétés coopératives piscicoles de la région du Haut-Sassandra .....                                                                 | 88    |
| Tableau XVII : Profil sociodémographique des pisciculteurs du Haut-Sassandra .....                                                                 | 89    |
| Tableau XVIII: Proportion des activités pratiquées aux alentours des étangs piscicoles .....                                                       | 92    |
| Tableau XIX : Proportion des espèces de poisson élevées en fonction des types étangs .....                                                         | 92    |
| Tableau XX: Différents aliments utilisés en pisciculture dans la région du Haut- Sassandra.                                                        | 93    |
| Tableau XXI : Charges microbiennes moyennes des potentiels pathogènes des viscères et<br>branchies des tilapia en fonction des types d'étangs..... | 99    |
| Tableau XXII : Charges microbiennes moyennes de pathogènes des eaux d'étangs piscicoles<br>.....                                                   | 100   |
| Tableau XXIII : Charges moyennes des potentiels pathogènes des sédiments en fonction des<br>types d'étangs.....                                    | 101   |
| Tableau XXIV: Prévalence de pathogènes microbiens du tilapia, de l'eau et du sédiment des<br>étangs barrage.....                                   | 104   |
| Tableau XXV: Prévalence de pathogènes microbiens du tilapia, de l'eau et des sédiments des<br>étangs en dérivation.....                            | 105   |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau XXVI: Antibiotype des pathogènes isolés du tilapia des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra.....              | 107 |
| Tableau XXVII: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des étangs piscicoles .....                                            | 111 |
| Tableau XXVIII: Teneurs moyennes en mg/kg des ETM dans le tilapia et les sédiments et en mg/L des eaux d'étangs piscicoles .....  | 118 |
| Tableau XXIX : Facteurs de Bioconcentration des ETM dans le poisson tilapia par rapport à l'eau des étangs et aux sédiments ..... | 122 |
| Tableau XXX: Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans le tilapia issu des étangs piscicoles.....                  | 124 |
| Tableau XXXI: Teneurs moyennes en mg/L des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles .....                        | 127 |
| Tableau XXXII: Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs piscicoles.....                  | 129 |
| Tableau XXXIII : Facteurs de Bioconcentration des résidus de pesticides dans les poissons .....                                   | 133 |

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                                               | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Figure 1: Schéma simplifié d'un système cultural intégré à la pisciculture.....                                                               | 10    |
| Figure 2: Schéma des deux types d'étangs piscicoles.....                                                                                      | 11    |
| Figure 3 : <i>Heterotis niloticus</i> .....                                                                                                   | 14    |
| Figure 4 : <i>Clarias gariepinus</i> .....                                                                                                    | 15    |
| Figure 5 : <i>Oreochromis niloticus</i> .....                                                                                                 | 16    |
| Figure 6 : Diffusion des pesticides dans l'environnement .....                                                                                | 51    |
| Figure 7 : Structure de l'Atrazine .....                                                                                                      | 54    |
| Figure 8: Structure de l'urée.....                                                                                                            | 55    |
| Figure 9: Structure générale de carbamate .....                                                                                               | 56    |
| Figure 10: Structure des organophosphorés .....                                                                                               | 57    |
| Figure 11: Principe de fonctionnement d'une chaîne HPLC .....                                                                                 | 59    |
| Figure 12. Représentation schématique d'un spectromètre de masse .....                                                                        | 60    |
| Figure 13 : Cartographie de la zone d'étude .....                                                                                             | 62    |
| Figure 14 : Différentes matrices utilisées.....                                                                                               | 62    |
| Figure 15 : Dissection du tilapia (A : retrait des viscères; B : retrait des branchies).....                                                  | 69    |
| Figure 16 : Systèmes de production piscicole dans le Haut-Sassandra.....                                                                      | 90    |
| Figure 17: Répartition des étangs dans la région du Haut-Sassandra .....                                                                      | 90    |
| Figure 18 : Activités associées à la pisciculture.....                                                                                        | 91    |
| Figure 19 : Matrice de corrélation des charges microbiennes des eaux des étangs, sédiments et tilapia.....                                    | 103   |
| Figure 22: Profils électrophorétiques des gènes recherchés.....                                                                               | 110   |
| Figure 23 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et les contaminants biologiques du tilapia .....                          | 112   |
| Figure 24: Boxplot comparant les teneurs moyennes d'ETM du tilapia aux normes en fonction des types d'étangs.....                             | 119   |
| Figure 25: Boxplot montrant la différence entre les teneurs moyennes des ETM dans l'eau en fonction des types d'étangs .....                  | 120   |
| Figure 26: Boxplot montrant la différence entre les teneurs moyennes des ETM des sédiments et les normes en fonction des types d'étangs ..... | 121   |
| Figure 27 : Matrice de corrélation des éléments traces métalliques du tilapia, des eaux des étangs et des sédiments .....                     | 123   |

---

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 28: Comparaison des teneurs ETM dans le tilapia aux normes .....                                           | 131 |
| Figure 29: Comparaison des teneurs de résidus pesticides de l'eau d'étangs aux normes ....                        | 132 |
| Figure 31 : Matrice de corrélation des résidus de pesticides des eaux d'étangs, des sédiments et du tilapia ..... | 134 |
| Figure 32 : Matrice de corrélation des contaminants chimiques et biologiques du tilapia ....                      | 135 |

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1: Fiche d'enquête
- Annexe 2: Matériel de terrain
- Annexe 3 : Matériel d'étude microbiologique
- Annexe 4 : Milieux de culture utilisés
- Annexe 5: Appareillage de biologie moléculaire
- Annexe 6: spectromètre
- Annexe 7 : Aspects culturels des germes recherchés
- Annexe 8: Aspects culturels des germes recherchés
- Annexe 9: Tests d'identifications bactériennes
- Annexe 10: Boîtes de Petri illustrant l'antibiogramme des souches étudiées
- Annexe 11: Chaîne HPLC
- Annexe 12: Caractéristiques phénotypique de *E coli*
- Annexe 13: Caractéristiques phénotypique de *Salmonella*
- Annexe 14: Caractéristiques phénotypique de *S. aureus*
- Annexe 15: Caractéristiques phénotypique de *Enterococcus* sp
- Annexe 16: Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon de poisson
- Annexe 17: Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon d'eau d'étangs
- Annexe 18: Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon de sédiments

# INTRODUCTION

La satisfaction des besoins en ressources aquacoles est devenue un enjeu majeur à travers le monde particulièrement dans les pays en développement. La production aquacole en Afrique subsaharienne reste faible en dépit de nombreuses années de pratique. Malgré les immenses potentialités humaines, géographiques, naturelles, agricoles dont dispose la Côte d'Ivoire, la production piscicole demeure très faible (Kouadio & Assi-Kaudjhis, 2018; N'Dri *et al.*, 2021). Le nombre de fermes piscicoles est un peu plus de 1200 pour une superficie totale exploitée de 750 hectares (MIRAH, 2022). En effet, la production aquacole totale nationale annuelle était estimée à 110 000 tonnes en 2022. Cette production reste très insignifiante pour la consommation annuelle nationale estimée à 650 000 tonnes (Coulibaly *et al.*, 2019 ; MIRAH, 2022). Actuellement, la pisciculture ivoirienne ne fournit que près de 5 % de la production nationale de poissons (FAO, 2022). La région du Haut-Sassandra, bien qu'étant une grande zone de production agricole, est aussi connue pour son potentiel en production piscicole (Bamba *et al.*, 2007). Cette production était estimée à 750 tonnes en 2013 (MIPARH, 2014). Cependant, cette production ne couvre qu'environ 15 % de la consommation locale estimée à près de 4000 tonnes (Kouadio & Assi-Kaudjhis, 2018).

Pour accroître la production en poisson et couvrir le besoin, plusieurs projets et coopérations ont vu le jour (Yao *et al.*, 2017 ; MIRAH, 2003). Il s'agit du Programme Stratégique de Transformation de l'Aquaculture en Côte d'Ivoire (PSTACI) qui vise 500 mille tonnes de poissons d'ici 2030 (Yao *et al.*, 2017). Il y a aussi l'initiative « FISH4ACP » de la FAO qui veut augmenter les investissements dans les fermes piscicoles pour accroître la production de tilapia (*Oreochromis niloticus*) à 68 000 tonnes d'ici 2031 contre 3 500 tonnes actuellement (MIRAH, 2022).

La pisciculture est une activité le plus souvent pratiquée en zones rurales et péri-urbaines et surtout dans les bas-fonds où plusieurs activités coexistent (Blé *et al.*, 2007). Ces activités sont composées des fermes agricoles dans les bas-fonds, le développement croissant des activités minières près ou dans les cours d'eau, le développement des habitats des bas-fonds et des activités industrielles près des cours d'eau. Le développement de ces activités ces dernières décennies pourrait entraîner de nombreux problèmes de pollution et de contamination, notamment par les Eléments Traces Métalliques (ETM), les résidus de pesticides, les polluants organiques et les contaminants microbiens (Deblon, 2017). En Côte d'Ivoire, si l'activité agricole bénéficie d'un encadrement adéquat pour les producteurs, le

---

secteur de la production piscicole ne bénéficie pas toujours d'une assistance et d'un encadrement qualifiés.

Les effluents agricoles, les déchets et les rejets urbains sont des sources de contamination des milieux aquatiques et de leurs ressources avec des bactéries, des virus, des champignons et autres parasites pathogènes pour l'Homme (Dabadé *et al.*, 2016). La présence de bactéries pathogènes pour l'Homme dans les ressources piscicoles peut entraîner des infections alimentaires et causer de graves problèmes sanitaires. En 2016, en Europe, 13,4 % des toxiinfections alimentaires (TIA) avaient pour origine les produits aquatiques. Les principaux agents bactériens responsables de ces TIA étaient *Salmonella* et *Vibrio parahaemolyticus* (EFSA & ECDC, 2017). Plusieurs études en Afrique subsaharienne ont relevé une contamination microbienne des ressources aquacoles au Zimbabwe, en République Démocratique du Congo et au Mali (Sichewo *et al.*, 2014 ; Itongwa *et al.*, 2019 ; Samake *et al.*, 2022). Ces travaux indiquaient des risques sanitaires pour les populations. En Côte d'Ivoire, des études ont montré aussi la contamination par des souches bactériennes pathogènes des ressources aquacoles (Kouadio *et al.*, 2011 ; Atobla *et al.*, 2022 ; Ehui *et al.*, 2024). Les principales bactéries pathogènes de ces ressources étaient *Escherichia coli*, *Vibrio parahemolyticus*, *Salmonella* et *Pseudomonas*.

En outre, la « Révolution verte » pour accroître la sécurité alimentaire a modifié les systèmes agricoles de manière très différenciée. L'accroissement des rendements et de la productivité ont nécessité l'emploi massif des pesticides au détriment des techniques agricoles telles que les rotations de cultures et de contrôle mécanique de mauvaises herbes (León, 2019). Ces pesticides, souvent utilisés de façon irrationnelle, laisseraient inévitablement des résidus dans les sols, l'eau et les produits qui pourraient nuire à la santé humaine et à la qualité de l'environnement (INERIS, 2000 ; Keddal & N'dri, 2007 ; Louis, 2017). En effet, 15 à 20 % des produits phytosanitaires sont cancérogènes et la plupart d'entre eux sont des perturbateurs endocriniens et mortels (Scheyer, 2004 ; Yao *et al.*, 2022). En dehors de leur toxicité directe sur l'homme et les animaux, les pesticides présentent la particularité de s'accumuler dans les écosystèmes surtout aquatiques (Yao *et al.*, 2018).

Tout comme les pesticides, les ETM suscitent un grand intérêt pour la communauté scientifique. Les problématiques posées par ces polluants/contaminants sont essentiellement de nature sanitaire et concernent leur persistance dans le milieu naturel, leur caractère bio-accumulateur dans l'environnement et leurs effets sur la santé (Koffi *et al.*, 2014 ; Français, 2024 ; Ehui *et al.*, 2025). Les ETM comme le Cadmium, le Mercure, le Plomb et l'Arsenic

sont des contaminants stricts et dangereux pour la santé (Matech *et al.*, 2014). L'ingestion de ces ETM via l'alimentation est associée à des perturbations des fonctions métaboliques essentielles à l'Homme (Chekri *et al.*, 2020).

Malgré les nombreux risques de contamination des étangs piscicoles dus aux activités agricoles et autres activités anthropiques, très peu de données scientifiques existent sur les contaminants chimiques et les pathogènes microbiens des étangs piscicoles. Les travaux réalisés portent seulement sur le poisson frais et le poisson prêt à être consommé incriminant ainsi tous les points critiques de la chaîne de production. Dès lors, il apparaît intéressant d'étudier globalement les différentes contaminations des étangs piscicoles et leurs principales ressources pour la durabilité de cette filière et la sécurité des consommateurs. Ce travail vise à évaluer la contamination par des potentiels pathogènes bactériens et agents chimiques des eaux, des sédiments et des poissons issus des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra, zone emblématique de la production piscicole. Cet objectif émane des hypothèses suivantes :

- la pisciculture est une activité importante dans la région du Haut-Sassandra ;
- les eaux, les sédiments et les poissons issus des étangs piscicoles sont contaminés par des pathogènes microbiens ;
- les eaux, les sédiments et les poissons issus de pisciculture sont contaminés par des polluants chimiques.

La vérification de ces hypothèses nécessite le traitement des objectifs spécifiques suivant :

- établir les principales caractéristiques des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra ainsi que le profil de leurs producteurs;
- caractériser les contaminants microbiens des eaux, des sédiments et des poissons des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra ;
- déterminer la contamination en éléments traces métalliques et résidus de pesticides des eaux, des sédiments et des poissons des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra.

Outre l'introduction, la conclusion et les pages intermédiaires, le présent travail comporte trois parties. La première est consacrée à une généralité. Laquelle partie permet de donner un aperçu sur les connaissances relatives aux différentes matrices étudiées, les contaminants chimiques, les germes pathogènes et les méthodes d'analyse des germes et contaminants chimiques. La deuxième partie porte sur le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude et la troisième partie traite les résultats obtenus suivis de leur interprétation et discussion.

# **PREMIERE PARTIE : GENERALITES**

---

## 1. PISCICULTURE

### 1.1. Définition

L'aquaculture est un concept qui englobe l'élevage d'animaux et de végétaux aquatiques dans des milieux d'eau douce, d'eau saumâtre ou d'eau salée. Son but est d'accroître la production alimentaire pour atteindre un niveau supérieur à celui de la production naturelle (Abed & Beloufa, 2019). En Côte d'Ivoire, l'aquaculture est exclusivement basée sur la pisciculture qui se pratique en zones rurales et périurbaines (Eira *et al.*, 2008). La pisciculture désigne l'ensemble des techniques de production et d'élevage des poissons comestibles. Elle se pratique à différentes échelles, allant d'un étang à des fins d'autoconsommation aux entreprises industrielles à grande échelle (Toily, 2009 ; Fouzia & Fatiha, 2019).

### 1.2. Historique de la pisciculture en Côte d'Ivoire

La pisciculture a été introduite en Côte d'Ivoire par l'administration coloniale en 1940 (Hem *et al.*, 1994 ; Toily, 2009). Mais ce n'est qu'en 1955 qu'elle prend forme. Cela est marqué par des projets, des travaux de recherche menés par des institutions et principalement la création de la section de pisciculture au sein du département des eaux et forêts (Ziehi, 1993). Le développement de cette filière s'est fait en trois phases (Lazard, 2014). La phase d'initiation, marquée par la création d'étangs de démonstration. Les premiers essais de la pisciculture ont porté sur le tilapia en mode intensif avec des résultats satisfaisants dans les stations de recherches et de production d'alevins (Hem *et al.*, 1994 ; Yao *et al.*, 2017). Les années 60 sont marquées par des essais d'espèces allochtones (Magnet & Kouassi, 1978). Il s'en est suivi une phase de sensibilisation et d'implantation et enfin une phase de régionalisation marquée par la mise en place des projets. Malheureusement, toutes ces tentatives se sont soldées par un échec et l'abandon de nombreux projets de développement dus au contexte socio-économique très difficile, à la nature et au coût des investissements à réaliser, à l'absence de fonds de roulement et à l'inadaptation des espèces de poissons utilisées à cette époque (MIRAH, 2022). A partir de 1975, plusieurs initiatives importantes ont conduit à un "réamorçage" de l'activité aquacole (Ziehi, 1993), avec des projets visant la formation et la recherche. De 1977 à 1991, divers projets exécutés se sont penchés sur la formation et la vulgarisation. Durant ces dernières années, en raison des résultats prometteurs de diverses recherches menées sur certaines espèces comme le tilapia, le *Chrysichtys* et la *Clarias*, le gouvernement ivoirien a pris conscience de l'intérêt de la pisciculture. L'objectif principal de l'aquaculture est d'améliorer la nutrition et les conditions d'existence des populations rurales.

---

Aujourd'hui, l'aquaculture est une activité commerciale exercée à un niveau artisanal ou semi-industriel (Lacroix, 2004 ; Toily, 2009).

### **1.3. Types de piscicultures**

Classiquement et schématiquement, il existe deux types de pisciculture. La pisciculture de "production" et la pisciculture de "transformation" (Boumaraf, 2019).

#### **1.3.1. Pisciculture de "production"**

La pisciculture de production est surtout illustrée par l'élevage en étang. Dans ce contexte, l'eau devient un véritable environnement de production grâce à l'énergie solaire et à la fertilisation ou l'alimentation. Cette pisciculture est rustique en raison de la simplicité de la gestion de l'eau et de la flexibilité en matière d'alimentation des poissons. La nourriture, entièrement ou partiellement, est générée par l'environnement et elle est propagée à travers celui-ci. Le rendement est fonction du degré d'intensification du système (Magali, 1999 ; Boumaraf, 2019).

#### **1.3.2. Pisciculture de "transformation"**

La pisciculture de transformation est caractérisée par des systèmes "hors sol", représentée par les structures telles que les raceways, les cages flottantes et les enclos. Dans ce contexte, l'eau agit comme un vecteur de transport. Elle transporte l'oxygène et les résidus du métabolisme des poissons. Les rendements par unité de surface sont généralement très élevés (Magali, 1999).

Selon le type d'élevage, il existe quatre systèmes de production que sont (Tableau I) :

- la pisciculture extensive,
- la pisciculture semi-intensive,
- la pisciculture intensive,
- la pisciculture super-intensive (Boumaraf, 2019).

##### **1.3.2.1. Pisciculture extensive**

La pisciculture extensive est un système d'élevage traditionnel pratiqué sur de grandes surfaces en zones rurales et péri-urbaines, caractérisée par des apports faibles en intrants et en main-d'œuvre. La production naturelle des aliments est essentielle, entraînant une productivité relativement basse (1 à 1,5 t/ha/an). Cependant les poissons bénéficient souvent de sous-

---

produits agricoles comme aliments d'appoint (Eira *et al.*, 2008 ; Toily, 2009). Ce système repose sur un élevage mixte de plusieurs espèces de poissons non sexées avec une densité incontrôlée, favorisant une approche artisanale et durable (Toily, 2009 ; Boumaraf, 2019).

#### **1.3.2.2. Pisciculture semi-intensive**

La pisciculture semi-intensive est une forme d'élevage artisanal principalement localisée en zones péri-urbaines (Boumaraf, 2019). Elle utilise une alimentation à base de sous-produits agro-alimentaires (Toily, 2009). Ce système se distingue par une utilisation modérée d'intrants et une hausse de la production de poissons, rendue possible grâce à l'emploi d'engrais et de nourriture additionnelle. Cela entraîne des coûts accrus en termes de main-d'œuvre et d'alimentation (Eira *et al.*, 2008 ; Boumaraf, 2019).

#### **1.3.2.3. Pisciculture intensive**

Également désignée comme pisciculture industrielle, la pisciculture intensive se caractérise par la production optimale de poissons d'une taille spécifique dans une quantité restreinte d'eau, d'espace et de temps, à un coût minimal et selon un calendrier prédéfini (Boumaraf, 2019). Ce genre d'élevage se base sur une nourriture artificielle, qui est un facteur crucial dans la production. La pisciculture intensive est couramment pratiquée dans des étangs, des enclos lagunaires ou des cages flottantes (Eira *et al.*, 2008 ; Toily, 2009).

#### **1.3.2.4. Pisciculture super intensive**

Dans ce système d'élevage, le développement des poissons exige un contrôle minutieux de l'alimentation et des paramètres physico-chimiques de l'eau. L'alimentation doit être équilibrée et satisfaisante en quantité et en qualité selon l'espèce et le stade physiologique des poissons. Les paramètres de l'eau (température, oxygénation) doivent être régulièrement contrôlés avec un renouvellement fréquent (Boumaraf, 2019 ; Fouzia & Fatiha, 2019).

Tableau I: Quelques caractéristiques des différents systèmes de production piscicole  
(Boumaraf, 2019)

| Niveau D'intensification    | Extensif                    | Semi-intensif                            | Intensif               | Super intensif                           |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|
| <b>Empoissonnement</b>      | 0,1 < x < 1 /m <sup>2</sup> | 1 à 5 /m <sup>2</sup>                    | 5 à 10 /m <sup>2</sup> | 10 à 100 /m <sup>2</sup>                 |
| <b>Structure d'élevage</b>  | Étang, petit barrage, mare  | Étang                                    | Étang, cage            | Étang, bassin hors sol, raceways, enclos |
| <b>Rendement (t/ha/an)</b>  | 0 - 1                       | 1 à 15                                   | 15 à 50                | > 50                                     |
| <b>Type de culture</b>      | Polyculture                 | Polyculture                              | Monoculture            | Monoculture                              |
| <b>Intrants</b>             | Peu ou pas d'intrants       | Fertilisants, Macrophytes aliment Simple | Aliment Composé        | Aliment équilibré, Extrudé, antibiotique |
| <b>Type de pisciculture</b> | Production                  | Production                               | Production             | Transformation                           |

#### 1.4. Pisciculture intégrée à l'agriculture

##### 1.4.1. Présentation générale

La pisciculture intégrée à l'agriculture est l'introduction de la pisciculture en milieu agricole. Le processus consiste à développer deux activités en parallèle ou séquentiellement, en bénéficiant des avantages d'une activité (Figure 1). En général, la pisciculture intégrée est plus recommandée dans les zones rurales, particulièrement dans les petites et moyennes exploitations en raison de leur apport élevé en protéines (Gasmi, 2019). La pisciculture et l'agriculture sont liées dans un large éventail de systèmes d'eau douce, traditionnellement (riz et poisson, poisson-chat et poulet) ou des développements plus récents comme la laitue, tomates en aval des fermes de tilapia (Abbani & Benzid, 2022).

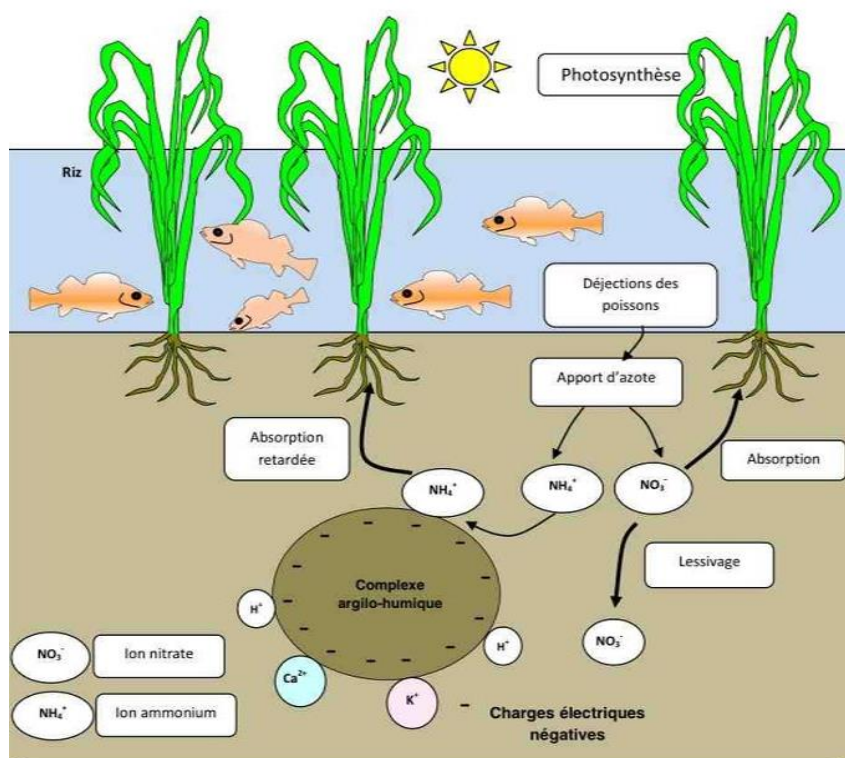


Figure 1: Schéma simplifié d'un système cultural intégrés à la pisciculture (Batouchellhem, 2020)

#### 1.4.2. Types de pisciculture intégrée et avantages

Il existe deux types de pisciculture intégrée à l'agriculture dont la pisciculture intégrée à la production végétale et la pisciculture intégrée à la production animale. La pisciculture intégrée à la production végétale consiste à élever des poissons dans des étangs et/ou des bassins d'eau utilisés pour l'irrigation des cultures (Bouhania & Hammia, 2020). Dans ce type de pisciculture, les poissons sont nourris des déchets et des résidus des cultures agricoles produites par l'exploitation. En ce qui concerne l'élevage de poissons intégré à la culture végétale, il s'agit d'exploiter directement les résidus provenant de l'élevage de bétail et/ou de volailles comme nourriture pour le poisson. Ce système peut garantir un apport supplémentaire en protéines, réduire l'utilisation d'engrais chimiques et développer une pisciculture biologique et durable (Bouhania & Hammia, 2020 ; Abbani & Benzid, 2022).

#### 1.5. Etangs piscicoles

Un étang est un support physique constitué par une pièce d'eau vidangeable selon les nécessités de la pisciculture et d'un mini écosystème favorable au développement du poisson (Broyer *et al.*, 2009). En fonction du site, on distingue deux types d'étangs : les étangs en dérivation et les étangs barrage (Eira *et al.*, 2008).

### 1.5.1. Etangs en dérivation

Les étangs en dérivation sont les étangs alimentés en eau par dérivation d'une source ou d'un cours d'eau (Figure 2). Ils peuvent être classés en trois types principaux : les étangs endigués, les étangs creusés et les étangs partiellement creusés et endigués. Les étangs endigués sont construits au-dessus du niveau du terrain, ce qui nécessite l'utilisation d'une pompe pour leur approvisionnement en eau. En revanche, les étangs creusés sont excavés dans le sol, mais leur vidange nécessite également une pompe. Les étangs partiellement creusés et endigués utilisent la terre extraite pour former des levées autour d'eux. Leur emplacement optimal présente une légère inclinaison (entre 1 et 2 %), permettant l'installation d'un canal d'approvisionnement en eau au-dessus du niveau de l'étang et d'un canal de drainage en dessous, ce qui permet un remplissage et une vidange naturels par gravité, éliminant ainsi le besoin d'une pompe pour ces opérations (Eira *et al.*, 2008).

### 1.5.2. Etangs barrage

Les étangs barrages sont créés en érigeant une digue à travers un cours d'eau naturel ou une zone de rétention d'eau (Figure 2). Ils s'apparentent à de petites digues de rétention, avec l'avantage d'une construction aisée. Cependant, la gestion de ce système s'avère très complexe : il est ardu de le maintenir exempt de poissons sauvages et une partie significative des aliments distribués sera emportée par le courant. Selon Eira *et al.* (2008), un étang barrage correctement conçu ne déborde que dans des situations exceptionnelles.

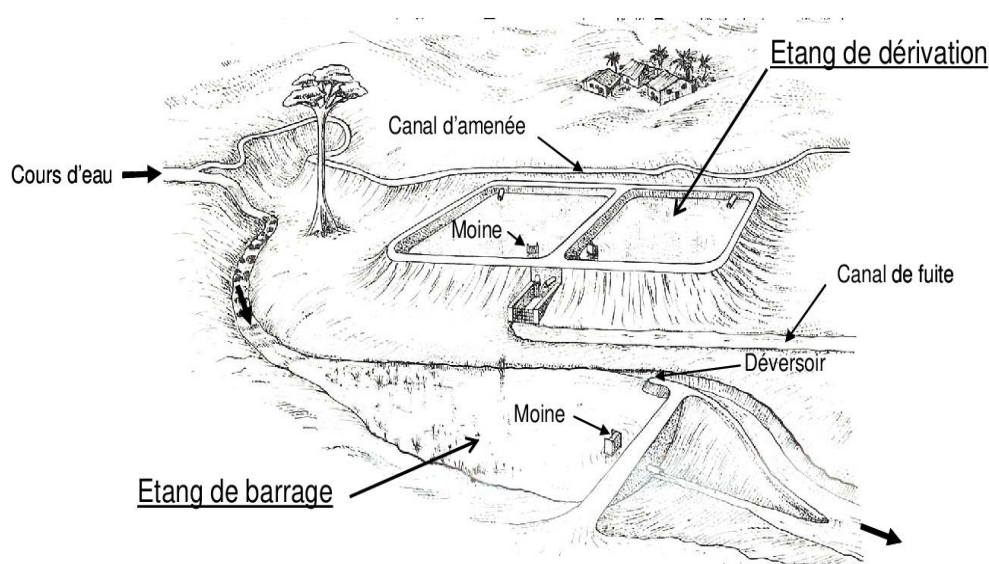


Figure 2: Schéma des deux types d'étangs piscicoles (Eira *et al.*, 2008)

## 1.6. Importance des étangs

### 1.6.1. Etangs et alimentation humaine

La pisciculture en étang connaît une croissance significative dans de nombreux pays à travers le monde (Da Silva *et al.*, 2009). Chaque année, plus de 100 millions de tonnes de poissons issus de ces étangs sont consommées, fournissant à 2,5 milliards de personnes au moins 20 % de leurs apports en protéines animales. L'aquaculture joue donc un rôle crucial dans la sécurité alimentaire mondiale. En revanche, la production aquacole en Côte d'Ivoire est d'environ 110 000 tonnes/an, un chiffre considérablement inférieur à la demande nationale, estimée à 600 000 tonnes/an. La pisciculture en étang représente une solution prometteuse pour répondre à ce besoin de poisson destiné à l'alimentation humaine (FAO, 2014).

### 1.6.2. Etangs et économie

En Afrique subsaharienne, l'agriculture et les activités connexes constituent le principal secteur contribuant largement à l'alimentation et à la vie économique des ménages ruraux (Voahirana, 2013). Bien qu'elles continuent à être menées suivant des techniques rudimentaires avec une production relativement faible (Kifufu, 2019), elles jouent un rôle très fondamental dans ces pays. Plus de 80 % des populations rurales en tirent leur existence. Ainsi, face à la pauvreté et l'insécurité alimentaire dominant les milieux ruraux africains, le secteur agricole représente un outil de développement incontournable. Son renforcement doit être considéré comme une stratégie prioritaire pour éradiquer ces fléaux et assurer l'amélioration des conditions de vie précaires des populations rurales. Il devra impliquer toutes les activités y afférentes parmi lesquelles la pisciculture. Hishamunda *et al.* (2011) ont affirmé que la pisciculture est susceptible d'offrir aux pauvres plusieurs possibilités d'améliorer leur bien-être et la qualité de leur vie. Le poisson étant une source très précieuse des protéines et acides gras polyinsaturés, garantit l'équilibre nutritionnel, assure des revenus additionnels considérables, génère des emplois directs et indirects contribuant ainsi de manière significative au développement économique et à la sécurité alimentaire des populations rurales. En Côte d'Ivoire, sa mise en application a été réalisée par le biais de politiques axées sur la diversification agricole, l'augmentation des revenus des agriculteurs et la sécurité alimentaire. Depuis les années 70, ce domaine reçoit une considération spéciale dans les stratégies nationales de développement économique et social (Dago & El Karouni, 2010). Devant la hausse du prix de la viande, la qualité inférieure des poissons importés et la diminution des prises de pêche, les produits aquacoles devraient combler le besoin grandissant

en poisson sur le marché en générant des emplois, augmentant de la productivité, renforçant de la compétitivité et en répondant aux besoins alimentaires (Coulibaly *et al.*, 2019).

## 1.7. Principales espèces de poisson des étangs piscicoles en Côte d'Ivoire

### 1.7.1. *Heterotis niloticus*

*Heterotis niloticus* est un poisson de la famille des *Osteoglossidae*. Sa position systématique se présente de la manière suivante (Kiloso, 2012 ; Kouakou *et al.*, 2016) :

|              |                              |
|--------------|------------------------------|
| Règne        | : Animalia                   |
| Phylum       | : Chordata                   |
| Sub-phylum   | : Vertebrata                 |
| Sup-classe   | : Gnatostomata               |
| Sous-classe  | : Actynopterygii             |
| Classe       | : Actinopterygii             |
| Super-Ordre  | : Osteoglossomorpha          |
| Ordre        | : Ostéoglossiformes          |
| Sous-Ordre   | : Osteoglossodei             |
| Famille      | : Osteoglossidae             |
| Sous-Famille | : Heterotinae                |
| Genre        | : <i>Heterotis</i>           |
| Espèce       | : <i>Heterotis niloticus</i> |

C'est une espèce typiquement soudanienne, mais introduite dans les régions forestières où elle s'acclimate facilement. Elle a été introduite en Côte d'Ivoire à travers les barrages d'Ayamé, Kossou, Buyo et de Taabo. Aujourd'hui, on les retrouve aussi dans les étangs. Cette espèce présente un grand potentiel pour l'aquaculture grâce à sa croissance rapide, sa capacité de respiration double, la saveur appréciable de sa chair et sa valeur marchande relativement élevée (Kiloso, 2012 ; Boumaraf, 2019). Il a plusieurs dénominations en Afrique qui varient suivant les pays et les langues. En Côte d'Ivoire, il est appelé "poisson Cameroun" en français, Fanan en malinké ou encore Ahoussou Koffi en baoulé (N'Zi, 2022). *H. niloticus* préfère comme espace vital idéal les habitats grands obscurs et ouverts. Il est un omnivore à tendance benthophage et microphage (Edoghotu & Hart, 2014 ; Kouakou *et al.*, 2016) consommant principalement les invertébrés benthiques et des micro crustacés (Kouakou *et al.*, 2016). Son régime alimentaire se compose également d'insectes, de rotifères, d'arachnides, de nématodes et de graines. En captivité, *H. niloticus*, lorsqu'il est élevé en polyculture avec *O. niloticus*, n'a

pas de régime alimentaire particulier. Il distribue les aliments aux tilapias sans entrer en compétition directe avec eux (Figure 3) (Kimou *et al.*, 2016).



Figure 3 : *Heterotis niloticus* (Adité, 2007)

(A) adulte ; (B) juvénile

### 1.7.2. *Clarias gariepinus*

Le *Clarias gariepinus*, qui fait partie de la famille des poissons chats, est généralement identifié par son nom en raison de la présence de barbillons au niveau de ses mâchoires, caractéristique qui lui vaut son appellation (Lacroix, 2004). La systématique détaillée de cette espèce est décrite selon (Redouane, 2016 ; Boumaraf, 2019)

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| Règne         | : Eukaryota                 |
| Sous-Règne    | : Metazoa                   |
| Phylum        | : Chordata                  |
| Sous-phylum   | : Craniata                  |
| Embranchement | : Vertebrata                |
| Super classe  | : Gnathostomata             |
| Classe        | : Osteichthyes              |
| Sous-classe   | : Teleostei                 |
| Super order   | : Ostariophysi              |
| Order         | : Siluroidei                |
| Famille       | : Clariidae                 |
| Genre         | : <i>Clarias</i>            |
| Espèce        | : <i>Clarias gariepinus</i> |

Cette espèce est caractérisée par un corps cinq à neuf fois plus long que haut, cylindrique allongé, de nageoires dorsale et anale extrêmement longues contenant seulement des rayons mous, de huit barbillons (permettant la détection des proies) dont quatre paires entourent la bouche transversale et une absence d'écailles (Figure 4). La peau est recouverte de mucus (Lacroix, 2004). Leur reproduction peut se faire naturelle ou par des techniques artificielles. En effet, les *C. gariepinus* deviennent matures au cours de leur première année d'existence, à un poids approximatif de 200 g et à une longueur totale de 240 à 280 mm ou dans certaines zones, pendant la deuxième année, à une longueur totale de 340 mm. Cependant, en captivité, *C. gariepinus* ne réalise pas de ponte spontanée (sauf quelques cas hasardeux) d'où l'utilisation de techniques artificielles de reproduction. Ces techniques impliquent l'usage ou non d'hormones naturelles ou synthétiques favorisant la maturation finale (Redouane, 2016 ; Boumaraf, 2019). L'espèce *C. gariepinus* est omnivore à tendance carnassière avec une habitude d'alimentation nocturne. Cette caractéristique a conduit à les utiliser parfois comme prédateurs associés dans les élevages de tilapia. Le régime alimentaire de l'adulte est essentiellement ichtyophage et le tilapia constitue la plupart du temps la majeure partie de sa ration. Les jeunes sont planctonophages (Redouane, 2016 ; Fouzia & Fatiha, 2019).



Figure 4 : *Clarias gariepinus* (Batouchellhem, 2020)

### 1.7.3. *Oreochromis niloticus*

*Oreochromis niloticus* appartient à la classe des *Osteichthyens*, à l'ordre des *Cypriniformes*, à la famille des *Cichlidae* et autrefois regroupés dans le seul genre tilapia. Aujourd'hui, ils ont été répartis en trois genres : *tilapia*, *Oreochromis*, *Sarotherodon*. Les principales différences entre ces trois genres portent surtout sur les stratégies de reproduction (comportements sexuels et parentaux). Le genre *Oreochromis* est un incubateur buccal exclusivement maternel, les *Sarotherodon* quant à eux sont des incubateurs buccaux biparentaux ou paternels et les

*Tilapia* des pondéurs sur substrats (Alhassane, 2004 ; Dhraïef *et al.*, 2010). L'espèce *Oreochromis niloticus* est caractérisée par une seule narine de chaque côté, une nageoire dorsale longue à partie antérieure épineuse, une nageoire caudale avec des bandes régulières noires, une nageoire anale, deux nageoires pectorales et deux nageoires pelviennes. Le corps comprimé latéralement est essentiellement recouvert d'écailles cycloïdes de taille plus réduites sur le ventre que sur les flancs. La couleur de l'espèce est fonction de son habitat mais en général, elle est grisâtre, plus foncée chez l'adulte avec des flancs pâles et le ventre blanchâtre (Figure 5) (Ouedraogo, 2000 ; Alhassane, 2004 ; Boumaraf, 2019). Dans le milieu naturel *Oreochromis niloticus* est essentiellement phytoplanctonophage. Ce qui ne l'empêche pas également d'absorber du zooplancton et même des sédiments riches en bactéries et iatomées. Dans un environnement artificiel, cette espèce est presque omnivore (euryphage), capable de consommer divers résidus agricoles et s'acclimatant aisément à une alimentation sous forme de granulés. Sa grande potentialité pour l'aquaculture découle de sa capacité à s'adapter à différents types d'aliments. De plus, ils sont des poissons originaires des régions tropicales tolérant des gammes de températures de 16 à 42°C avec un préférendum thermique de croissance et de reproduction compris entre 22 et 28°C. Ils peuvent aussi survivre dans des conditions de faible oxygénation, de l'ordre 0,1 mg/L mais ne se développent qu'à partir de 3 mg/l. Par ailleurs, ils supportent des gammes de pH de 5 à 11 mais préfèrent des milieux neutres à légèrement basiques où le pH varie de 7 à 8 (Alhassane, 2004).



Figure 5 : *Oreochromis niloticus* (Toily, 2009)

## 1.8. Qualité nutritionnelle du poisson

La qualité nutritionnelle des poissons est directement associée à la composition de leur chair en macronutriments et micronutriments. Cette composition varie selon l'espèce considérée, la taille, le statut physiologique, les conditions d'élevage et l'âge, ainsi que la saison de pêche et le contenu énergétique de leur alimentation (Médale, 2004 ; Bell *et al.*, 2022). En général, la chair de poisson est composée de 70 à 80 % d'eau, de 16 à 22 % de protéines, de quantités négligeables de glycogène et d'une teneur très variable en lipides (de 0,5 % à 15 %) (Hossain *et al.*, 2023). Les poissons sont classés en trois groupes en fonction de leur teneur en lipides : les poissons maigres (0,5 % à 5 %), les poissons demi-gras (5 % à 10 %) et les poissons gras (> 10 %) (Khalid *et al.*, 2023). La chair du poisson dont le Saumon et le Thon est particulièrement riche en acides gras polyinsaturés (AGPI) et mono-insaturés (AGMI), les principaux étant l'acide eicosapentaénoïque (C20:5 n-3, EPA) et l'acide docosahexaénoïque (C22:6 n-3, DHA) (Ruxton *et al.*, 2024). Ces acides gras sont considérés comme essentiels en raison des capacités limitées de conversion de leur précurseur, l'acide  $\alpha$ -linoléique (Calder, 2023).

En ce qui concerne les vitamines, les poissons sont une source importante de vitamines hydrosolubles, telles que B6 et B12, ainsi que de vitamines liposolubles comme A, E et D (Lindsey *et al.*, 2024). Les poissons sont également riches en sels minéraux, notamment le phosphore, le calcium, le potassium, le chlore et le soufre. Ils constituent une source alimentaire majeure d'iode, avec une teneur plus élevée chez les poissons marins (Dai *et al.*, 2023). De plus, bien que la teneur en fer et en sodium soit généralement plus faible, ces minéraux sont présents en quantités relativement plus élevées dans les poissons marins que dans les poissons d'eau douce (Assogba *et al.*, 2018 ; O'Brien *et al.*, 2023).

## 2. MICROBIOLOGIE DU POISSON, L'EAU D'ÉTANG ET DU SEDIMENT

### 2.1. Microbiologie du poisson

#### 2.1.1. Microflore des poissons

Des microorganismes sont présents sur la surface externe des poissons ainsi que dans leurs viscères et branchies, qu'ils soient vivants ou fraîchement pêchés. Leur concentration varie de  $10^2$  à  $10^7$  unités formant colonie (UFC) par  $\text{cm}^2$  de surface de peau, et de  $10^3$  à  $10^9$  UFC par gramme de branchies ou viscères. La composition de la flore bactérienne d'un poisson fraîchement pêché dépend de l'environnement de capture et de l'espèce de poisson. Les poissons capturés dans des eaux propres et froides présentent une charge bactérienne plus

faible par rapport à ceux pêchés dans des eaux chaudes (Hjelm *et al.*, 2021). La flore bactérienne dominante dans les eaux froides et tempérées est caractérisée par des bactéries psychrotrophes, qui se développent à 0°C avec un optimum de croissance autour de 25°C. En revanche, dans les eaux plus chaudes, les bactéries mésophiles sont plus fréquemment isolées (Baker *et al.*, 2022). Les poissons des eaux tempérées sont principalement colonisés par des bactéries bacilles psychrotrophes à Gram négatif (Khan *et al.*, 2022). En outre, des bactéries à Gram positif telles que *Bacillus*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus* et des Corynéformes peuvent être présentes en quantités variables, mais les bactéries à Gram négatif sont généralement prédominantes (Barton *et al.*, 2023). Dans les eaux marines, les bactéries comme *Vibrio*, *Photobacterium*, et *Shewanella* ont des besoins élevés en sodium pour leur croissance (López *et al.*, 2022). Les eaux polluées peuvent contenir des charges élevées d'Enterobacteriaceae, et il a été observé que *Escherichia coli* et *Salmonella* peuvent survivre pendant de longues périodes dans les eaux tropicales (Miller *et al.*, 2024).

### 2.1.2. Contamination microbiologique du poisson

La microbiologie du milieu aquatique conditionne de façon importante celle des poissons. L'eau peut être vectrice de dangers pour les poissons et autres produits aquatiques. L'eau peut être polluée par des rejets humains et animaux et contenir des germes pathogènes comme *Salmonella* ou *Shigella*. Les produits halieutiques jouent un rôle important dans l'apparition des maladies et des intoxications alimentaires provoquées par des microorganismes présents d'une manière naturelle dans le milieu aquatique ou introduits à travers les différentes manipulations. Normalement, la chair du poisson est stérile. Les régions contaminées sont le mucus qui recouvre la peau, les branchies et le tube digestif. La contamination bactérienne de la chair ne survient qu'après la capture (Kachou & Kaddouri, 2022).

## 2.2. Microbiologie de l'eau

La flore microbienne de l'eau des étangs est constituée d'une diversité d'organismes, notamment des bactéries, des algues, des protozoaires et des champignons, qui jouent un rôle crucial dans la santé et le fonctionnement de ces écosystèmes aquatiques. Les principaux microorganismes de l'eau incluent des bactéries comme *Escherichia coli*, indicateur de contamination fécale et *Pseudomonas aeruginosa*, souvent présente dans les environnements aquatiques. Les virus, tels que le virus de l'hépatite A et les bactériophages, sont également courants, tout comme les protozoaires comme *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium*, qui peuvent causer des infections intestinales. Les algues, notamment les cyanobactéries et les

diatomées, jouent un rôle crucial dans l'écosystème aquatique, tandis que certains champignons aquatiques contribuent à la décomposition de la matière organique. La présence de ces microorganismes est essentielle pour comprendre la qualité de l'eau et ses impacts sur la santé humaine et l'environnement (Asma & Saliha, 2017)

### **2.3. Microbiologie des sédiments**

Les sédiments constituent un habitat riche et complexe, abritant une diversité d'organismes tous comme l'eau. Les principaux microorganismes des sédiments incluent des bactéries anaérobies, telles que les sulfate-réducteurs et les méthanogènes, qui décomposent la matière organique en l'absence d'oxygène, ainsi que des bactéries nitrifiantes impliquées dans le cycle de l'azote. Les archées, notamment les méthanogènes, jouent également un rôle clé dans les environnements anoxiques. On trouve aussi des protozoaires, comme les ciliés et les flagellés, qui se nourrissent de bactéries et régulent leurs populations. Les champignons saprophytes décomposent la matière organique, tandis que certaines algues benthiques contribuent à la photosynthèse. Ensemble, ces microorganismes sont essentiels pour le recyclage des nutriments et le maintien de l'équilibre écologique des sédiments (Arnaud, 2018).

### **2.4. Potentiels pathogènes du poisson, de l'eau et du sédiment**

#### **2.4.1. *Staphylococcus aureus***

##### **2.4.1.1. Historique**

La première découverte de cette bactérie était en 1878 par Robert Koch lors d'une observation microscopique d'un amas de cellules regroupées sous forme de grappe de raisin (Benzeggouta *et al.*, 2021). Une année plus tard, Louis Pasteur avait isolé cette bactérie à partir des pus de furoncle et d'ostéomyélites décrit comme étant « un organisme unique, formé de petits points sphériques, réunis en double, rarement par quatre et très fréquemment associés en petits amas ». En 1882, le chirurgien Alexander Ogston avait donné le nom du Staphylocoque originaire des termes grecs Staphyle qui signifie grappe de raisin et Kokkos signifiant grain. En 1884 Rodenbach avait divisé le genre *Staphylococcus* en deux groupes en se basant sur la couleur des colonies obtenues où les colonies dorées sont appelées *S. aureus* (Angandza, 2012).

##### **2.4.1.2. Habitat**

*Staphylococcus aureus* est un commensal, occasionnel ou permanent de la peau et des muqueuses de l'homme et des animaux (rhino-pharynx, intestin) qui semblent constituer le

---

principal réservoir de ce germe, secondairement localisé dans la nature. La présence de *S. aureus* dans l'environnement est essentiellement due à une contamination par l'Homme ou par les animaux (Marion, 2021 ; Baptiste, 2023)

#### 2.4.1.3. Caractères bactériologiques

*Staphylococcus aureus* se présente sous forme de coque, Gram-positive avec un diamètre qui varie entre 0,5 à 1  $\mu\text{m}$  (Horváth *et al.* 2019), isolés ou groupés en diplocoques, en courtes chaînettes ou en amas, ayant la forme de grappe de raisin (Angandza, 2012). Elle est immobile, non sporulée et parfois encapsulée. *S. aureus* est capable de croître sur des milieux sélectifs et non sélectifs (Benzeggouta *et al.*, 2021).

Les staphylocoques sont peu exigeants sur le plan nutritif, aéro-anaérobies facultatifs, ils sont capables de se développer à la surface de la peau, en aérobiose et aussi dans les tissus mal oxygénés. Ils croissent bien sur les milieux usuels simples, de même que sur la plupart des milieux qui favorisent la croissance des bactéries à Gram positif (Cong *et al.*, 2020). La température optimale de croissance est de 37°C et le pH optimal est de 7.5 mais de grandes variations sont tolérées respectivement de 10 à 45 °C et de 5,6 à 8,1 (Benzeggouta *et al.*, 2021). En bouillon, la culture est rapide, en quelques heures un trouble homogène puis un dépôt sont observés. *Staphylococcus aureus* ne produit pas de pigment en milieu liquide. Après culture de 24 heures sur une gélose au sang, les colonies qu'ils produisent sont de plus grand diamètre que celles produites sur une gélose nutritive. Ainsi, une pigmentation peut être observée et la couleur varie selon l'espèce. Certaines souches sont pigmentées en jaune doré (d'où le nom aureus ou staphylococcus doré) (Angandza, 2012).

#### 2.4.1.4. Caractères biochimiques et enzymatiques

La recherche des activités biochimiques des staphylocoques est précieuse. Elle permet l'identification du genre *Staphylococcus*, de distinguer un Staphylocoque pathogène d'un non pathogène et de préciser l'origine humaine ou animale d'un Staphylocoque. Les caractéristiques biochimiques sont consignées dans suivant (Angandza, 2012).

Tableau II : Caractéristiques biochimiques de *Staphylococcus aureus* (Morgene, 2018)

| Tests                |                        |                         |              |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------|
| Enzymatiques         |                        | Métabolismes des sucres |              |
| Positif              | Négatif                | Positif                 | Négatif      |
| Catalase             | Oxydase                | D-Mannitol              | D-Cellobiose |
| Coagulase            | Ornithine              | D-Mannose               | D-Xylose     |
| Arginine dihydrolase | decarboxylase          | D-Tréhalose             | L-Arabinose  |
| Hemolyse             | $\beta$ -galactosidase | D-Turanose              | Raffinose    |
| Phosphatase alcaline | $\beta$ -glucuronisase | Maltose                 |              |
| Thermonucléase       |                        | Saccharose              |              |
| $\beta$ -glucosidase |                        |                         |              |

#### 2.4.1.5. Pathogénicité et impact sur la santé des consommateurs

*Staphylococcus aureus* est responsable de nombreux types d'infections chez l'homme et compte parmi les agents pathogènes les plus souvent isolés des infections nosocomiales et communautaires. Le mode principal de transmission est par contact direct avec des individus colonisés. En secteur hospitalier, le personnel soignant est une source importante de transmission de patient à patient (Chabha *et al.*, 2013 ; Cuq *et al.*, 2015). Les infections suppuratives superficielles cutanéomuqueuses tels les furoncles, les folliculites, les impétigos, les sinusites et les otites sont les plus couramment rencontrées. Ces infections peuvent être sujettes à des complications dues à une propagation hématogène de la bactérie ou à une extension locale de l'infection. *S. aureus* est aussi responsable de méningites, des infections respiratoires et urinaires (Hennekinne, 2009). Les toxémies staphylococciques, qui sont des infections non suppuratives causées par des toxines, proviennent de la propagation de toxines à partir d'un point infectieux ou de la consommation d'une toxine préexistante dans une nourriture contaminée. Ces toxémies regroupent d'une part les syndromes cutanés staphylococciques par les exfoliatines, le choc toxique staphylococcique et d'autre part les toxi infections alimentaire collective (TIAC) par les entérotoxines douées de propriétés neurotoxiques. En plus des infections aiguës, *S. aureus* peut provoquer des infections chroniques. La plupart d'entre elles sont dues à la capacité de ce pathogène à adhérer sur les implants médicaux et à former un biofilm (Guellab, 2020 ; Baptiste, 2023).

---

#### 2.4.1.6. Facteurs de virulence

La virulence de *S. aureus* est due à plusieurs facteurs notamment le composant de la paroi, les protéines de surface et les composants sécrétés (Kerrou, 2020 ; Baptiste, 2023).

##### 2.4.1.6.1. Composants de la paroi

La paroi cellulaire est composée d'une seule membrane lipidique, entourée d'une épaisse couche de peptidoglycane et d'acides lipoteichoïques (Oliveira *et al.*, 2018). La capsule polysaccharidique dénommée "slime", est impliquée dans le phénomène d'adhérence et favorise l'extension du foyer infectieux en interférant avec la phagocytose et en empêchant les anticorps d'accéder aux épitopes de surface. Le peptidoglycane est responsable de la forme de la bactérie. Les acides téichoïques (TA) quant à eux sont des antigènes importants et impliqués dans la division cellulaire, l'adhésion cellulaire, la formation de biofilm et la pathogénicité (Ben & Ouchache, 2021). (Collomb, 2011). Ils confèrent la forme cellulaire en donnant de la rigidité à la paroi cellulaire, en déterminant sa forme et en la protégeant de la lyse osmotique (Oliveira *et al.*, 2018). Le peptidoglycane et les acides téichoïques sont également impliqués dans l'activation de la réponse immunitaire innée (Bouchard, 2012).

##### 2.4.1.6.2. Protéines de surface

La première étape d'adhésion aux composants de la matrice extracellulaire de l'hôte colonisé est permise grâce aux protéines d'adhésion (adhésines) (Ivain, 2017). Ces protéines, peuvent être classées en deux principales familles : les protéines ancrées à la paroi bactérienne de façon covalente communément appelées MSCRAMM (Microbial Surface Components Recognising Adhesive Matrix Molecules) et les protéines sécrétées par la bactérie mais qui peuvent se lier à sa paroi grâce à des liaisons faibles qu'on appelle les SERAM (Secretable Expanded Repertoire Adhesive Molecules) (Morgene, 2018). D'autres protéines et d'autres molécules non protéiques exprimées par *S. aureus* peuvent avoir un rôle dans l'adhésion aux épithéliums (Kerrou, 2020 ; Baptiste, 2023).

##### 2.4.1.6.3. Composants sécrétés

Les staphylocoques sécrètent une quantité impressionnante de toxines et d'enzymes hydrolysant différents constituants cellulaires. Ces derniers contribuent ainsi à la pathogénie du staphylocoque doré. La plupart des enzymes sécrétées agissent en dégradant les molécules de l'hôte, en interférant dans les voies métaboliques ou en entraînant une inhibition de la phagocytose (Kerrou, 2020).

Tableau III : Enzymes sécrétés par *S. aureus* et leurs rôles (Kerrou, 2020)

| Enzymes                                                                          | Rôles                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coagulase (coagulase libre ou staphylocoase et Coagulase liée ou Clumping Factor | - Entraîne la coagulation locale du plasma autour des cocci les protégeant de la phagocytose.<br>- Elle inhibe la phagocytose par les neutrophiles empêchant la reconnaissance du pathogène. |
| Catalase                                                                         | Empêche la formation de radicaux oxygénés toxiques pour la bactérie améliorant ainsi sa survie dans le phagocyte.                                                                            |
| Lipases (phosphatases et estérases)                                              | - Dégrade des lipides de l'hôte et favorisent la survie des staphylocoques<br>- Formation de biofilms et d'abcès                                                                             |
| Fibrinolysine (staphylokinase)                                                   | Métabolise le plasminogène en plasmine, provoque la dissolution du thrombus contenant les <i>S. aureus</i> et permet ainsi leurs disséminations.                                             |
| Hyaluronidase                                                                    | Destruction du tissu conjonctif et facilite l'extension de l'infection aux tissus adjacents.                                                                                                 |
| Désoxyribonucléase thermostable                                                  | Interviennent dans la formation des lésions tissulaires                                                                                                                                      |
| Protéases                                                                        | Hydrolysent certaines protéines, telle que la staphylokinase.                                                                                                                                |
| Bêtalactaminases et pénicillinases                                               | Confère une résistance aux antibiotiques                                                                                                                                                     |

#### 2.4.1.6.4. Toxines

Les principales toxines produites par *S. aureus* peuvent être classés en 3 groupes : les toxines qui forment des pores (Pore-Forming Toxins : PFTs) ; les toxines synergohymenotropes (SHT) et les superantigènes (SA) (Kerrou, 2020 ; Baptiste, 2023). Les principales toxines sont regroupées dans le Tableau IV.

Tableau IV : Toxines produites par *S. aureus* (Baptiste, 2023)

| Toxines                                                      | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hémolysines ou staphylolysines                               | Plusieurs ont été décrites (alpha, bêta, gamma, delta). Elles ont une action cytolytique sur les plaquettes et les globules rouge.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| leucocidine de Panton Valentine (LPV)                        | C'est une exotoxine qui se compose de deux protéines : LukS-pv et LukF-pv (20 à 27 % d'homologie entre elles). Ces deux composants sont sécrétés séparément puis s'assemblent en octamère à la surface des cellules cibles, ce qui provoquera la formation d'un pore au niveau de la membrane cellulaire.                                                                               |
| Entérotoxine                                                 | Ce sont des protéines thermostables responsables d'intoxication alimentaire. Sur le plan antigénique, huit entérotoxine sont identifiées : A, B, C1, C2, C3, D, E et H, elles sont élaborées par certaines souches appelées Staphylocoque entérotoxinogènes. L'entérotoxine A est de loin la plus fréquente.                                                                            |
| Toxine responsable du choc toxique Staphylococcique (TSST-1) | La TSST-1 est un super-antigène retrouvé chez plus de 90 % des souches de <i>S. aureus</i> . Cette toxine a un effet pyrogène et entraîne l'activation simultanée de plusieurs sous-populations lymphocytaires, ce qui entraîne la libération de plusieurs médiateurs responsables de la symptomatologie du choc staphylococcique.                                                      |
| Exfoliatine                                                  | Environ 5 % des souches de <i>Staphylococcus aureus</i> sécrètent la toxine épidermique ou exfoliatine. Il existe deux sérotypes A et B : le gène codant pour le sérotype A est chromosomique (représentant 90 % de la protéine exfoliée) et le gène codant pour le sérotype B est un plasmide (4 % à 5 % d'exfoliatines). Ces deux sérotypes peuvent être produits par la même souche. |

---

## 2.4.2. *Escherichia coli*

### 2.4.2.1. Historique

*Escherichia coli* est une espèce bactérienne du genre *Escherichia*, appartenant à la famille des Enterobacteriaceae, ordre des Enterobactériales, phylum des Proteobacteria, classe des Gammaproteobacteria. La famille des Enterobacteriaceae comprend à l'heure actuelle une centaine d'espèces dont les plus isolées en pathologie clinique appartiennent à 12 genres qui sont : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Morganella*, *Proteus*, *Providencia*, *Salmonella*, *Serratia*, *Shigella*, *Yersinia* (Diassana, 2018). Le genre *Escherichia* comprend six sous-espèces dont *Escherichia coli*, *Escherichia abertii*, *Escherichia fergusonii*, *Escherichia hermani*, *Escherichia velneris* et *Escherichia blattae*. La différenciation ou l'identification de ces différentes sous-espèces se fait grâce à leurs caractéristiques biochimiques (Charlotte, 2016). *Escherichia coli* s'établit dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud qui constitue leur habitat naturel. Les pathologies les plus graves sont rencontrées avec les *Escherichia coli* entéro-hémorragiques dont le chef est *Escherichia coli* O157 :H7. Elles produisent de puissantes toxines appelées vérotoxine responsable des pathologies (Desbordes, 2003).

### 2.4.2.2. Habitat

*Escherichia coli* appartient à la microflore commensale de l'Homme et de nombreux animaux. C'est une bactérie colonisatrice du tube digestif des animaux à sang chaud mais également des reptiles. Son habitat principal est le tractus digestif. La bactérie *E. coli* se trouve principalement dans le colon et le caecum, où elle est présente à des concentrations dépassant  $10^6$  UFC (Unité Formant Colonie) par gramme de contenu intestinal. Elle réside fréquemment dans le mucus qui recouvre les cellules épithéliales de la paroi intestinale, offrant une niche écologique propice à son développement grâce à des conditions favorables en matière de température, d'humidité et de disponibilité en nutriments. De plus, cette bactérie est excrétée dans l'environnement via les excréments, atteignant une concentration approximative de  $10^8$  UFC/g. Elle pénètre dans les milieux environnementaux via les rejets, comme les eaux résiduaires, les lisiers ou les fumiers des animaux d'élevage, ou encore par les excréments d'animaux domestiques et sauvages. L'environnement est donc considéré comme son habitat secondaire (Charlotte, 2016 ; Diassana, 2018).

---

### 2.4.2.3. Caractères bactériologiques

*Escherichia coli* est un bacille Gram négatif anaérobie facultative qui peut être mobile ou immobile, parfois capsulés. Il est mobile par cils péritriche. Ce sont des colibacilles asporulés mesurant 2 à 4  $\mu$  de long sur 0,4 à 0,6  $\mu$  de large. C'est une bactérie fine et allongée à extrémité arrondie, mobile grâce à une ciliature péritriche. Ce germe, non exigeant sur gélose ordinaire, il donne des colonies lisses, brillantes et homogènes. Sa température de croissance optimale est de 37 °C. La culture de *E. coli* est très facile avec une grande tolérance de variation de pH et pousse entre 15°C et 45 °C ce qui l'inscrit sur la liste des coliformes. Le pH et l'activité de l'eau ( $A_w$ ) peuvent aussi influencer la multiplication des *E. coli*. L'optimum de croissance est de 0,99 pour l'activité de l'eau. La croissance des *E. coli* est arrêtée à des extrêmes (inférieur à 3,8 ou supérieur à 9,5) et à une valeur d' $A_w$  inférieur à 0,94. *Escherichia coli* cultive sur des milieux sélectifs ou non sélectifs. Ces colonies sont rondes translucides, parfois hémolytique (milieu au sang) (Al Ghonaim *et al.*, 2006).

### 2.4.2.4. Caractères biochimiques

*Escherichia coli* possède une catalase, mais n'a pas d'oxydase. L'analyse des activités enzymatiques et de la fermentation du sucre se fait grâce à des micro-méthodes validées disponibles sur le marché sous forme de galeries. Celles-ci permettent non seulement d'identifier cette bactérie, mais aussi de réaliser un diagnostic différentiel avec d'autres bactéries apparentées. La plupart des souches fermentent le sorbitol en dehors du serotype O157 : H7. Ces caractéristiques biochimiques sont partagées par l'ensemble des souches d'*E. coli* en dehors de certains mutants qui sont dépourvus de Glucuronidase. Ces caractéristiques distinctes permettent de rechercher et d'isoler les souches d'*E. coli* dans l'environnement et l'alimentation (Tableau V) (Pérez & Dávila, 2011).

Tableau V : Caractères biochimiques de *E. coli*

| Tests                                          |                          |
|------------------------------------------------|--------------------------|
| Positifs                                       | Négatif                  |
| Glucose                                        | Hydrogène Sulfuré        |
| Lactose                                        | Voges                    |
| Indole                                         | Voges-Proskauer          |
| Orthonitrophenyl- $\beta$ -D-Galactopyranoside | Uréase                   |
| Citrate De Christensen                         | Citrate De Simmons       |
| Arginine dihydrolase                           | Gélatinase               |
| Lysine Décarboxylase                           | Malonate                 |
| Ornithine Décarboxylase                        | Phény-Alanine Désaminase |
| Nitrate Réductase                              | Tryptophane Désaminase - |

#### 2.4.2.5. Pathogénicité et impact sur la santé des consommateurs

*Escherichia coli* est une entérobactérie fréquemment présente dans le système digestif de l'homme et des grands mammifères herbivores. Bien que la plupart des souches soient sans danger, certaines telles que l' *E. coli* productrice de Shiga-toxine (STEC) peuvent engendrer des maladies alimentaires graves. Il génère des cytotoxines nommées toxines de type « Shiga », du fait de leur similarité avec celles produites par *Shigella dysenteriae* anciennement désignées comme « Vérotoxines » d'où la dénomination « VTEC » ou « STEC », pour désigner la production de toxine de Shiga ou Verotoxine par *E. coli*. (Saltet, 2007). L'homme est principalement exposé à la transmission par le biais de la consommation ou de la manipulation des aliments. La transmission est facilitée par la faible dose infectieuse, qui est inférieure à 100 bactéries. L'infection par le STEC peut entraîner une diarrhée aqueuse souvent compliquée par une colite hémorragique (CH). Parmi les autres complications, on note l'apparition d'un Syndrome Hémolytique et Urémique (SHU) dans approximativement 2 à 7 % des situations, ou plus exceptionnellement, un Purpura Thrombotique Thrombocytopénique (PTT) chez l'adulte. Le SHU se manifeste principalement par des lésions rénales, tandis que le PTT se caractérise surtout par une atteinte cérébrale. Les individus les plus susceptibles à ces complications sont les enfants âgés de moins de 10 ans et les femmes (Denis, 2017). En effet, certaines souches pathogènes de *E. coli* sont connues comme des agents responsables de gastroentérites infantile ou de la diarrhée du voyageur. Elles sont souvent retrouvées au niveau de l'appareil génital féminin ou elles peuvent causer une colonisation vaginale ou une colonisation endocervicale ; encore responsable d'autres

infections chez les femmes enceintes telles que les infections intra-amniotiques et puerpérales et des infections néonatales telles que la septicémie néonatale précoce et tardive. Elles sont aussi capables d'infecter l'ensemble du système extra-intestinal provoquant des méningites, des infections de la peau, des myosites, des ostéomyélites, des épидidymo-orchites et peut même entraîner le syndrome de réponse inflammatoire systémique lors des infections graves de la bactérie *E. coli*. Ces signes cliniques se manifestent en fonction des souches de *E. coli* qui crée l'infection. On distingue :

- *Escherichia coli* entérotoxigènes (ETEC), responsable des diarrhées aqueuses peu fébrile avec des nausées et des crampes abdominales ;
- *Escherichia coli* entéropathogènes (EPEC) qui est responsable de diarrhée (selles aqueuses ou non formées) se prolongeant parfois au-delà de 2 semaines avec de la fièvre et des vomissements ;
- *Escherichia coli* entérohémorragique (EHEC), dont fait partie *Escherichia coli* 0157 :H7 qui produit des niveaux élevés de toxines pouvant endommager le rein, causer des septicémies ou des empoisonnements du sang. Les symptômes peuvent inclure la diarrhée aqueuse profuse puis hémorragique, de colites fébriles, des frissons des maux de tête, de fortes fièvres et dans certains cas l'infection peut conduire à la mort, même avec intervention médicale. *Escherichia coli* entéroinvasifs (EIE) qui est responsable de diarrhée aqueuse suivie d'une dysenterie syndrome fébrile, des crampes abdominales et des ténésmes (Al Ghonaim *et al.*, 2006).

#### 2.4.2.6. Facteurs de virulence

La virulence de *Escherichia coli* est principalement liée à sa sécrétion de toxine qui cause les symptômes cliniques. Cette toxine est appelée « shiga-toxine (*stX*) » car elle est très semblable à celle produite par la « *Shigella dysenteriae* 1 ». On distingue deux principales catégories de Shiga-toxines produites par les *E. coli* : les *stX1* neutralisables par des anticorps anti-Shiga-toxine de *Shigella dysenteriae* 1 et les *stX2* et autres variants non neutralisables. Les *stX* sont divisées en sous-types ; pour *stX1*, *stX1a*, *stX1c* et *stX1d* et pour *stX2*, *stX2a* à *stX2g*. C'est surtout *stX2* qui est associée aux Syndrome Hémolytique et Urémique (SHU) et plus particulièrement *stX2a* et *stX2d*. Un autre élément de virulence notable est la présence du gène *eaE*, localisé sur le locus chromosomique LEE et qui code une protéine nommée intimine (Charlotte, 2016). Elle est à l'origine de dommages de type « attachement-effacement ». D'autres variantes de STEC qui n'ont pas ce facteur de virulence peuvent aussi causer le SHU, si elles détiennent d'autres facteurs d'adhésion, comme cela a été observé pour l'O104

:H4. Un autre élément est l'existence d'un plasmide portant le gène hly, responsable de la production de l'entérohémolysine. Il y a d'autres éléments de virulence qui sont cependant moins courants. (Denis, 2017).

#### 2.4.2.7. Résistance physico-chimique

Réactivité aux désinfectants : la bactérie est réceptive à plusieurs désinfectants, dont l'hypochlorite de sodium à 1%, l'éthanol à 70%, les composés phénoliques, le glutaraldéhyde, l'iode et même le formaldéhyde. Inactivation par des méthodes physiques : La bactérie, étant sensible à la chaleur, est inactivée par la chaleur humide (vapeur d'eau à 121 °C pendant au moins 15 minutes) et par la chaleur sèche (160-170 °C pendant au moins une heure). La bactérie est aussi vulnérable lors de la cuisson à 70 °C ou de la pasteurisation (72 °C pendant 15 secondes). Elle supporte bien la réfrigération. Durabilité hors de l'hôte : la pérennité varie en fonction du substrat : jusqu'à 50 minutes dans le beurre, une dizaine de jours dans la crème, il se maintient aisément dans la viande hachée, les excréments et le sol souillé, mais ne dure pas longtemps dans les produits semi-liquides. La bactérie a la capacité de persister plusieurs semaines, voire des mois dans son environnement, et sa pérennité est conditionnée par divers éléments tels que la température ou le nombre de bactéries présentes. Par exemple, on a déjà retrouvé celle-ci après 20 jours dans du cidre, ou encore après 180 jours dans de la papaye, et même après plusieurs mois passés dans du fumier ou des excréments de divers animaux. (Denis, 2017).

### 2.4.3. *Salmonella*

#### 2.4.3.1. Historique

Les salmonelles, appartenant à la famille des entérobactéries et portant le nom du genre *Salmonella*. Elles ont été dénommées en hommage au vétérinaire américain Daniel Elmer Salmon. En réalité, c'est Theobald Smith qui a découvert ce genre, ayant travaillé sous la houlette de Salmon au Bureau of Animal Industry (BAI) dès 1884.

Eberth a identifié l'agent pathogène à l'origine de la fièvre typhoïde, dont la culture bactérienne a été réalisée par Gaffky en 1884, le bactériologiste Daniel eut isolé une bactérie provenant du porc (maintenant connu comme *Salmonella choleraesuis*) qui était considérée comme étant la cause de la fièvre porcine. C'est en 1896 que Widal a révélé la variabilité antigénique des souches de *Salmonella* (Tabo, 2013). Depuis les premières découvertes d'Eberth jusqu'à l'époque actuelle, le genre *Salmonella* a continuellement revêtu une

importance majeure dans les secteurs vétérinaire et médical. Cela s'explique tant par les conséquences économiques liées aux maladies animales que par la prévalence élevée des fièvres typhoïdes et des intoxications alimentaires collectives causées par les salmonelles chez l'homme (Bornert, 2000).

#### 2.4.3.2. Habitat

Les espèces habitent généralement dans les intestins de divers animaux à sang chaud, y compris les êtres humains. Certains sérovars sont spécifiquement humains : Typhi et Paratyphi, tandis que d'autres ne se trouvent que chez les animaux. Il est également possible de trouver de la *Salmonella* sur des poissons qui ne sont plus très frais. Les Salmonelles ont la capacité de persister plusieurs semaines dans un environnement sec et jusqu'à plusieurs mois dans l'eau. Elles sont souvent présente dans les environnements aquatiques pollués où la pollution par les déjections d'animaux infectés est considérable. Les oiseaux et les reptiles, qui sont des vertébrés aquatiques, jouent un rôle significatif dans la propagation de *Salmonella*. Elles peuvent être disséminées dans l'environnement par les excréta. Les salmonelles ne peuvent pas se multiplier de manière significative mais peuvent survivre dans le sol pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois si les conditions de température, de pH et d'humidité sont favorables. *Salmonella enterica* (cause d'intoxication alimentaire commune) est l'une des bactéries plus importantes trouvées sur les mouches (Tabo, 2013).

#### 2.4.3.3. Caractères bactériologiques

Sous un microscope optique, on observe que la *Salmonella* se présente sous forme de bâtonnets Gram négatifs mesurant entre 0,3 µm et 1 µm de large et dont la longueur varie de 1 à 6 µm. Ils sont mobiles grâce à une ciliature péritriche, sauf le sérovar Gallinarum-Pullorum. L'isolement et la caractérisation de *Salmonella* s'effectuent en quatre phases : le pré-enrichissement, l'enrichissement sur un milieu sélectif, l'isolement sur boîte de Pétri avec un milieu sélectif et pour finir, l'identification sur gélose triple sucre. La technique est modifiée selon la matrice à inspecter et est soumise à des standards en perpétuel changement. Les salmonelles sont des bactéries mésophiles qui se multiplient à des températures allant de 5,2 °C à 47 °C, avec une croissance optimale entre 35 et 37 °C. Elles prospèrent dans un pH variant de 4,5 à 9 et ont une activité en eau supérieure à 0,93 (Bornert, 2000).

#### 2.4.3.4. Caractères biochimiques et enzymatiques

L'étude des activités biochimiques des salmonelles est d'une grande valeur. Elle offre la possibilité de les reconnaître et de les distinguer. Il s'agit de bacilles Gram négatif, mobiles (avec une ciliature péritriche), aéro-anaérobies facultatifs, oxydase négatifs, nitrate réducteurs positifs, fermentant le glucose et ne fermentant pas le lactose, produisant du H<sub>2</sub>S et n'ayant pas d'uréase, capable de désaminer le tryptophane avec indole négatif, utilisant la voie des acides mixtes. Ils sont hautement contagieux et sont à l'origine de gastro-entérites, toxi-infections alimentaires ainsi que des fièvres typhoïde et paratyphoïde (*S. typhi* et *S. paratyphi*) (Harizi, 2018). La distinction des deux espèces du genre *Salmonella* peut se faire selon leurs propriétés biochimiques. Quant à *Salmonella enterica*, *Salmonella bongori*, ils ne ferment pas le sorbitol et se développe dans un environnement contenant du KCN (Cyanure de potassium) (Sylla, 2020).

#### 2.4.3.5. Pouvoir pathogène de *Salmonella*

Les aspects fondamentaux de la pathogénie de *Salmonella* incluent leur aptitude à infiltrer les cellules-hôtes et y résider en tant que parasite facultatif intracellulaire. Les micro-organismes, bien qu'en quantité limitée, s'introduisent par la voie digestive et, suite à une période d'incubation prolongée (qui peut aller jusqu'à 3 semaines), franchissent la barrière de la muqueuse intestinale pour envahir le tissu lymphoïde intestinal (Sylla, 2020). Ainsi, le germe est transmis aux ganglions lymphatiques mésentériques, puis à la lymphe et finalement dans le sang, provoquant ainsi une bactériémie (Cuq *et al.*, 2015). Les signes de contamination apparaissent généralement entre 24 et 48 heures suite à la consommation d'un aliment contaminé, comprenant des symptômes comme des nausées, des vomissements, des maux de tête et de la diarrhée. La bactériémie accompagnée de sepsis ne représente pas une complication fortuite, mais fait partie intégrante du déroulement habituel de la maladie. De plus, le tissu lymphoïde intestinal a la capacité de s'ulcérer, ce qui peut provoquer une perforation intestinale accompagnée d'une péritonite. Un patient rétabli peut maintenir la présence de microbes pendant des mois, voire des années, les bactéries persistantes se localisant principalement dans les voies biliaires. La libération d'endotoxine est un facteur clé dans le mécanisme pathogène de la maladie, ce qui souligne le risque associé à l'administration d'une dose importante d'antibiotique susceptible de déclencher une destruction massive des bactéries. Les fièvres typhoïde et paratyphoïde, pathologies extrêmement graves entraînant une hospitalisation des patients dans 90 % des cas, sont causées par des sérovars exclusivement humains : *Salmonella typhi*, *S. paratyphi* et dans une

moindre mesure, *S. paratyphi*. Il est courant que *Salmonella* contienne des plasmides qui portent des éléments de résistance aux antibiotiques (Sylla, 2020). La distinction est faite entre les salmonelles majeures (présentes uniquement chez l'homme) et les salmonelles mineures (ubiquistes). Les principales souches de *Salmonella* (*S. Typhi*, *S. Paratyphi*, *S. Paratyphi*, *S. Paratyphi*) sont à l'origine des fièvres typhoïdes et paratyphoïdiques respectivement. La contagion se produit via les excréments des personnes infectées. Une fois infectée, l'hémoculture détecte l'infection avant la coproculture (l'infection se déplace du sang vers l'intestin grêle). Les Salmonelles mineures sont à l'origine de gastroentérites. Ces microbes sont transportés par l'homme et l'animal. Les infections alimentaires sont attribuées aux salmonelles mineures dans 30 à 60 % des cas (Harizi, 2018).

#### **2.4.4. *Enterococcus* spp.**

##### **2.4.4.1. Historique**

Après Therncelin, le premier à identifier les entérocoques en (1899), également le premier à utiliser le terme diplocoques, viennent Andrews et Horder, qui l'on décrit en 1906 sous le nom de *Streptococcus faecalis*, pour désigner des bactéries potentiellement pathogènes des patients souffrant d'endocardites et des bactéries ayant la capacité de former des courtes chaînes. En 1933, Lancefield a proposé une classification des streptocoques en fonction de leurs sérogroupes, classant les entérocoques comme appartenant au groupe sérologique D. Parmi les exemples donnés, se retrouve : *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equinus* et *Streptococcus suis*. En 1937, Sherman a classé les genres de *Streptococcus* en quatre sous-groupes : les streptocoques fécaux ou entérocoques, les streptocoques lactiques, le groupe des viridans et les streptocoques pyogènes. Kalina a proposé en 1970 que *Streptococcus faecalis* et *Streptococcus faecium* soient déplacés vers le genre *Enterococcus*. Ce n'est qu'avec l'émergence de la biologie moléculaire et des nouvelles méthodes, comme le calcul du pourcentage G+C, le séquençage de l'ARNr 16S et l'hybridation ADN-ADN, que Schleifer reclasse les bactéries *Streptococcus faecalis* et *Streptococcus faecium* en *Enterococcus faecalis* et *Enterococcus faecium*, respectivement.

##### **2.4.4.2. Habitat**

Les entérocoques ont des propriétés intrinsèques qui leur permettent de se répandre un peu partout dans la nature. Ils sont largement répartis entre le tube digestif de l'Homme, les autres mammifères, les oiseaux, les plantes, le sol et l'eau, qui sont les hôtes originaux des *Enterococcus*. Les entérocoques sont des germes ubiquistes, capables de survivre sous une

gamme de facteurs de stress environnementaux et colonisent une large gamme de niches écologiques. L'estimation de l'horloge moléculaire, ainsi que l'analyse de leur distribution environnementale, la diversité phénotypique et la concordance avec les archives fossiles de l'hôte, situent les origines des entérocoques à l'époque de la territorialisation animale entre 425 et 500 millions d'années. L'intestin de l'Homme est peuplé d'une concentration d'entérocoques de l'ordre de  $10^5$  à  $10^7$  UFC/g.

#### 2.4.4.3. Caractéristiques bactériologiques

Les Entérocoques sont des Cocci à Gram positif, qui se présentent sous forme de cellules ovoïdes qui peuvent être isolés, en diplocoque ou encore en chainettes. Généralement ils forment des colonies de couleur blanche et rarement jaune comme, *E. mundtii*, *E. casseliflavus* et *E. sulfureus*. Les *Enterococcus* ont une taille comprise entre 0,6 et 2  $\mu\text{m}$ , ils sont généralement immobiles, rarement capsulés et non sporulés. Le diagnostic des entérocoques se fait par culture ou par sérodiagnostic, Ce dernier peut être séparé des Streptocoques et des Pneumocoques par la modification des milieux de cultures. Ces bactéries sont aptes à survivre dans des conditions hostiles de 6,5 % de Na Cl, dans du lait renfermant 0,1 % de bleu de méthylène, dans des concentrations en sels biliaires de 40 %, ils sont également capables d'hydrolyser l'esculine en "esculétine" (noircissement caractéristique du "milieu" bile esculine) et tolèrent une gamme de pH comprise entre 4,4 et 9,6. *Enterococcus faecalis* et *E. faecium* peuvent survivre à une température de 60 ° C pendant 30 minutes, ce qui permet de les distinguer des autres genres apparentés tels que streptococcus.

#### 2.4.4.4. Caractéristiques biochimiques

Un certain nombre de réactions biochimiques ont été décrites pour le diagnostic des entérocoques et sont généralement catalase négative, dépourvus de cytochrome oxydase, de nitrate réductase et nécessitent des facteurs de croissance. De plus, la plupart des entérocoques ne produisent pas d'indole ou de sulfure d'hydrogène. Ils ont été testés positifs au test de Voges-Proskauer. Les entérocoques sont homofermentaires et produisent principalement de l'acide lactique et, dans une moindre mesure, de l'acétate et de l'éthanol. Les produits finaux du métabolisme changent en fonction de la présence ou de l'absence d'oxygène. En milieu anaérobie, l'acide lactique est le principal produit du métabolisme des sucres. Dans des conditions aérobies, les métabolites sont l'acétate et le dioxyde de carbone. Ils sont capables de métaboliser divers types de sucres tels que le lactose, le ribose, le tréhalose, le glucose et le maltose (Astier-Théfenne *et al.*, 2015).

---

#### 2.4.4.5. Pathogénicité de *Enterococcus*

Les entérocoques ne sont pas des microorganismes invasifs, qui ne causent habituellement pas la maladie que chez les enfants dont la surface des muqueuses est endommagée ou dont la réponse immunitaire est amenuisée. Leur affleurement spectaculaire comme cause d'infection nosocomiale est principalement le résultat de leur résistance aux antibiotiques couramment utilisés en milieu hospitalier. Les molécules sécrétées et de surface cellulaire sont impliquées dans la pathogénèse. Des facteurs favorisant l'adhésion, comme la protéine de surface EPS, expliquent probablement la propension de ces organismes à causer une endocardite et des infections urinaires. La capacité à former des biofilms facilite censément la colonisation des cathéters urinaires et vasculaires. D'autres facteurs de virulence étudiés comprennent la cytolysine, la substance d'agrégation, la gélatinase et le superoxyde extracellulaire (Ya, 2006).

### 2.5. Etude phénotypique des microorganismes

Dans la pratique actuelle, une bonne étude microbiologique impose une bonne caractérisation des microorganismes. En bactériologie, deux types de caractérisations sont généralement usitées. Il s'agit de la caractérisation phénotypique et génotypique. Le choix des méthodes d'identification microbienne est fonction du domaine et des objectifs (Heddoud & Hamada, 2012). L'identification phénotypique repose sur des méthodes classiques de microbiologie, dites pasteuriennes. Le dénombrement et l'identification des microorganismes se font sur des critères morphologiques (coloration) et/ou par des tests biochimiques après isolement et culture sur boîtes de Pétri ou en milieux liquides. La technique consiste à comparer divers caractères phénotypiques de la souche à étudier vis à vis de ceux d'une souche de référence. Elle peut se faire soit par observation direct ou après culture bactérienne (Samantha, 2017).

#### 2.5.1. Morphologie des microorganismes

L'analyse des caractères culturels se fait à travers des examens macroscopique et microscopique. Au niveau macroscopique, l'identification des germes est basée sur l'observation de l'aspect des colonies obtenues à partir des différents milieux d'isolement (la taille, la forme, la couleur, la consistance, l'opacité, l'allure du contour) (Abdi *et al.*, 2022). L'examen microscopique permet de faire une étude morphologique des cellules à partir des colonies suspectes sur les différents milieux gélosés (Ya, 2006). Elle se fait selon la technique de coloration de Gram. Cette technique permet non seulement d'observer la forme des cellules mais aussi de différencier entre deux grands groupes taxonomiques différents : les

---

bactéries Gram positives et les bactéries Gram négatives (Astier-Théfenne *et al.*, 2015 ; Yao, 2022).

### 2.5.2. Caractéristiques biochimiques

Les tests biochimiques pour l'identification des bactéries sont essentiels en microbiologie et incluent plusieurs méthodes clés. Le test de fermentation des sucres détermine la capacité d'une bactérie à fermenter des sucres comme le glucose, tandis que le test de l'oxydase identifie celles possédant l'enzyme cytochrome oxydase par un changement de couleur. Le test de catalase détecte la présence de l'enzyme catalase par la formation de bulles lors de l'ajout de peroxyde d'hydrogène (Ya, 2006 ; Yao, 2022). D'autres tests, comme le test de la lysine décarboxylase évalue la capacité de la bactérie à décarboxyler la lysine. Le test de l'uréase vérifie la dégradation de l'urée en ammoniac (Abdi *et al.*, 2022). En combinant ces tests, une identification précise des espèces bactériennes est obtenue (N'Ga *et al.*, 2023).

## 2.6. Antibiorésistance

### 2.6.1. Antibiotiques

Le terme "antibiotique" provient du grec « bios » signifiant la vie et « anti » signifiant contre, reflétant ainsi sa fonction principale : "agir contre la vie". Les antibiotiques sont des substances chimiques qui peuvent être produites naturellement, comme les pénicillines issues du champignon *Penicillium notatum* ; par hémisynthèse, comme la pénicilline V ; ou entièrement par synthèse, comme le linézolide (Davies & Davies, 2019). Ces substances ont la capacité d'inhiber la croissance bactérienne (bactériostatique) ou de provoquer la destruction des bactéries (bactéricidie) en ciblant une ou plusieurs voies métaboliques essentielles à leur survie (Bush & Bradford, 2020). Le spectre d'activité d'un antibiotique est défini par l'ensemble des espèces bactériennes sensibles à celui-ci, déterminant ainsi sa famille et ses sous-familles (Hughes & Kessel, 2023). Les antibiotiques sont spécifiquement antibactériens et n'ont pas d'effet sur les virus (Gulick, 2022).

### 2.6.2. Classification des antibiotiques

Les antibiotiques sont classés selon plusieurs critères :

#### ❖ Selon l'origine

Cette classification des antibiotiques repose sur leur origine de découverte et se divise en trois catégories principales. Les antibiotiques naturels sont produits par des microorganismes qui

possèdent les gènes nécessaires pour leur synthèse. Un exemple classique est la pénicilline, naturellement produite par le champignon *Penicillium notatum* (Barker *et al.*, 2022). Les antibiotiques synthétiques sont entièrement fabriqués en laboratoire par voie chimique, sans l'intervention de microorganismes ; les sulfamides en sont un exemple représentatif, étant créés pour lutter contre les infections bactériennes (Kumar *et al.*, 2023). Enfin, les antibiotiques semi-synthétiques sont dérivés d'antibiotiques naturels, mais ont subi des modifications chimiques pour améliorer leur efficacité ou leur spectre d'activité. La méticilline, par exemple, est une forme modifiée de pénicilline, conçue pour surmonter certaines résistances bactériennes (Smith *et al.*, 2024).

#### ❖ Selon le spectre d'activité

Selon Gaudy & Buxeraud (2005), les antibiotiques se classifient selon leur spectre d'activité. Les antibiotiques à large spectre sont efficaces contre la majorité des bactéries, tant à Gram positif qu'à Gram négatif (Lewis *et al.*, 2022). Les antibiotiques à spectre limité sont principalement actifs contre les bactéries à Gram positif et, dans une moindre mesure, contre certaines bactéries à Gram négatif (Wright *et al.*, 2023). Enfin, les antibiotiques étroits ciblent spécifiquement certaines bactéries, soit à Gram positif, soit à Gram négatif (Anaïs, 2020).

#### ❖ Selon le mode d'action

Les antibiotiques interagissent avec des sites spécifiques sur la bactérie cible, appelés sites d'action, pour inhiber sa biosynthèse. Selon leur mode d'action, les antibiotiques se classifient en deux grandes catégories. Les antibiotiques bactériostatiques inhibent la croissance bactérienne en interrompant des processus essentiels tels que la synthèse des protéines ou de l'ADN, ce qui limite la multiplication des bactéries sans les tuer directement (Lee *et al.*, 2023). En revanche, les antibiotiques bactéricides provoquent la mort des bactéries en ciblant des structures vitales comme la paroi cellulaire ou les membranes cellulaires, entraînant ainsi la destruction des cellules bactériennes (Kohanski *et al.*, 2024).

### 2.6.3. Mode d'action des antibiotiques

Les antibiotiques sont classés en fonction de leur structure chimique et leur mode d'action (Tableau VI).

Tableau VI : Familles d'antibiotiques et leurs sites d'action

| Sites d'action des antibiotiques        | Familles d'antibiotiques |
|-----------------------------------------|--------------------------|
| Inhibition de la synthèse de la paroi   | Bêta-lactamines          |
|                                         | Glycopeptides            |
|                                         | Fosfomycine              |
| Inhibition de la synthèse des protéines | aminosides               |
|                                         | Macrolides               |
|                                         | Tétracyclines            |
|                                         | Linézolides              |
| Inhibition du fonctionnement de l'ADN   | Quinolones               |
|                                         | Imidasolés               |
| Inhibition la membrane cellulaire       | Daptomycine              |

### 2.6.4. Résistance aux antibiotiques

La résistance aux antibiotiques est un terme relatif puisqu'il existe de nombreuses définitions en fonction du critère sur lequel on se base (génétique, biochimique, microbiologique ou clinique). L'Organisation Mondiale de la Santé définit en microbiologique une bactérie comme étant résistante, lorsqu'elle supporte des concentrations d'antibiotiques plus élevées que celle qu'il est possible d'atteindre *in vivo* après administration, ou que celle qui inhibe le développement de la majorité des souches de la même espèce (Hawa, 2020).

#### 2.6.4.1. Résistances naturelles

La résistance est dite naturelle lorsqu'elle est caractéristique d'une espèce bactérienne. Elle est portée par le chromosome, ce qui lui permet d'être stable et transmissible à la descendance. Elle représente également un caractère d'identification des bactéries et permet de définir le phénotype « sauvage » d'une bactérie. En ce qui concerne *S. aureus*, peu de résistances naturelles existent, elles concernent seulement l'aztréonam, des quinolones de 1ère génération ainsi que des peptides cycliques (polymixine B et E et colistine) (Hawa, 2020).

#### 2.6.4.2. Résistances acquises

La résistance acquise, contrairement aux résistances naturelles qui sont inhérentes à certaines espèces bactériennes, est spécifique à des souches particulières et se propage rapidement au sein des populations bactériennes. Cette forme de résistance peut émerger à la suite de mutations chromosomiques spontanées survenant pendant la réplication de l'ADN ou, plus fréquemment, par l'acquisition d'éléments génétiques mobiles tels que des plasmides ou des transposons. La résistance acquise constitue un caractère épidémiologique crucial, permettant de définir des phénotypes spécifiques de résistance des bactéries, influençant ainsi les stratégies de traitement et de contrôle des infections (Hawa, 2020 ; Lee *et al.*, 2023).

#### 2.6.5. Mécanisme de résistance aux antibiotiques

La résistance des bactéries aux antibiotiques repose sur quatre principaux mécanismes. Le premier est la diminution de la perméabilité membranaire, qui peut être naturelle pour les antibiotiques hydrophobes et les bacilles à Gram négatif, ou acquise par l'activation de porines. C'est ainsi que *E. coli* peut acquérir des porines OmpF, lui permettant d'induire une résistance croisée aux quinolones, bêtalactamines, chloramphénicol et tétracyclines. Le deuxième mécanisme est la mutation ou modification enzymatique, où les bactéries altèrent la cible de l'antibiotique par des mutations ou des modifications des enzymes cibles. Le troisième mécanisme est l'inactivation enzymatique de l'antibiotique, qui vise à détruire ou modifier l'antibiotique afin qu'il devienne inactif, pouvant être hydrolysé (pénicillinase, céphalosporinase pour les  $\beta$ -lactamines) ou modifié dans sa structure chimique (acétylase, adénylase, phosphorylase pour les aminosides). Enfin, le quatrième mécanisme est l'efflux actif, où la bactérie produit une protéine membranaire, la pompe à efflux, qui permet l'exportation de l'antibiotique hors de la bactérie grâce à un canal. Cette pompe permet une sortie d'antibiotique plus rapide que l'entrée, maintenant ainsi une concentration intracellulaire d'antibiotique à un niveau faible et inefficace (Hawa, 2020).

### 2.7. Etude moléculaire des microorganismes

La biologie moléculaire est une science consacrée à l'étude des molécules portant le message héréditaire (ADN et ARN). Elle analyse, dans les molécules, la structure du génome et ses altérations (mutations) ainsi que les mécanismes de l'expression, normale et pathologique des gènes (Boudeffa & Merabet, 2021). Il y a beaucoup de méthodes principalement moléculaires pour l'identification des bactéries, en biologie moléculaire et dans d'autres domaines de recherche liés aux bactéries. Les méthodes moléculaires sont couramment employées comme

---

instruments efficaces pour identifier les microorganismes, remplaçant ainsi les techniques traditionnelles qui peuvent être sujettes à des incertitudes et instabilités (Samantha, 2017). Actuellement, les techniques les plus utilisées sont la PCR et le séquençage.

### **2.7.1. Extraction du matériel génétique**

Les techniques d'isolement des acides nucléiques sont cruciales en biologie moléculaire et sont fréquemment employées dans divers domaines dont, médical et biologique (Boudeffa & Merabet, 2021). Les étapes majeures de l'extraction de l'ADN ou ARN sont :

- l'isolement de l'ADN ou l'ARN ou la lyse cellulaire

Elle se fait par un détergent qui permet la lyse des cellules en dissolvant les membranes cellulaires et en débarrassant l'ADN d'une partie de protéines liées, il est ainsi libéré.

- la purification de l'ADN

Elle est obtenue en utilisant des substances déproteinantes (chimiques et enzymatiques).

- le contrôle qualité (optionnel)

L'évaluation de la qualité de l'extraction peut être effectuée au nanodrop ou en visualisant le profil électrophorétique sur gel d'agarose.

### **2.7.2. Amplification par réaction de polymérisation en chaîne (PCR)**

La PCR (Polymerase Chain Reaction) est la technique de base de la biologie moléculaire : elle permet à la fois de cibler le ou les fragments que l'on veut étudier. Elle est utilisée dans tous les types d'application. La technique de PCR permet d'obtenir des copies multiples d'ADN à partir de quelques molécules d'ADN dites matrice à l'aide de la Taq polymérase. Le concept de la PCR repose sur la sélection d'amorces oligonucléotidiques synthétiques capables de se lier aux extrémités de la séquence à amplifier et d'effectuer sa réplication, garantissant ainsi la multiplication de la séquence délimitée par les amorces. La PCR est une réaction cyclique et chaque cycle comprend 3 étapes dont la dénaturation de l'ADN par chauffage à 95 °C, l'hybridation des amorces oligonucléotidiques (30 à 56 °C) et la synthèse du brin complémentaire (72 à 74 °C) (Boudeffa & Merabet, 2021).

### **2.7.3. Séquençage**

Le séquençage de l'ADN est une technique visant à identifier l'ordre linéaire des bases A, C, G et T qui composent la structure de l'ADN. L'analyse de cette séquence offre la possibilité d'examiner les données biologiques qu'elle renferme. Le principe du séquençage consiste à synthétiser un fragment de l'ADN que l'on souhaite séquencer à partir d'une sonde-amorce

dont une extrémité est marquée et à interrompre de façon aléatoire cette synthèse au moyen de ddTTP, ddATP, ddCTP et ddGTP marqués. De simples électrophorèses permettront de lire la séquence comme indiqué. La méthode est automatisée, elle permet des recoupements et des alignements de séquence. Les résultats en sont généralement rendus sous forme de courbes de couleur différentes, chaque courbe correspondant à une base (Boudeffa & Merabet, 2021).

### 3. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DES ETANGS

Les organismes aquatiques sont étroitement liés à la qualité de leur environnement. Cette qualité est influencée non seulement par des paramètres abiotiques tels que le pH, la salinité, la concentration en oxygène, les métaux, les substances toxiques et les nutriments (Reddy *et al.*, 2019), mais aussi par des facteurs biotiques, incluant le type de substrat, l'environnement naturel, les interactions avec d'autres organismes et les courants (Meyer *et al.*, 2016). En général, l'évaluation de la qualité de l'eau repose sur des critères quantitatifs, tels que la disponibilité adéquate de certains nutriments, le pH, la teneur en oxygène, ainsi que la présence de substances reconnues pour leur toxicité, comme les métaux lourds, les pesticides et les phénols (Kouamé, 2021).

Bien que certains paramètres, tels que le pH et la teneur en oxygène, soient relativement faciles à mesurer, d'autres, comme les concentrations en métaux, présentent des défis d'interprétation. En effet, la toxicité de ces métaux est modulée par divers facteurs, notamment la dureté de l'eau, le pH, le degré d'oxygénation, la température, le pouvoir tampon, ainsi que la présence d'autres anions et cations. De plus, l'âge et la nature des organismes aquatiques jouent également un rôle déterminant dans cette dynamique (Loustau, 2020).

#### 3.1. Température

Dans les environnements aqueux, la température joue un rôle écologique crucial. Elle est associée d'un côté aux fluctuations saisonnières et quotidiennes de la température ambiante, et de l'autre côté, aux rejets issus des activités humaines. Son dérangement peut affecter la vie dans l'eau. Des facteurs tels que le pH et l'oxygène dissous sont influencés par la température de l'eau (Benkaddour, 2018).

#### 3.2. Potentiel d'hydrogène

C'est un indicateur qui permet d'évaluer la concentration en protons  $H^+$  dans un environnement aqueux et de déterminer sa caractéristique (acide, basique ou neutre). Ce

facteur est crucial pour l'évolution de la vie aquatique. De surcroît, le pH a un impact sur le comportement de divers éléments tels que les métaux, dont il peut réduire ou accroître la dissolution et par conséquent la toxicité en rendant ces derniers biodisponibles. En général, le pH des eaux naturelles se situe entre 6 et 8,5 (Benkaddour, 2018).

### **3.3. Oxygène dissous**

C'est un aspect crucial de l'écologie des environnements examinés. Elle est indispensable pour la respiration des êtres vivants hétérotrophes. La quantité d'oxygène gazeux présent dans l'eau à l'état dissous est exprimée en milligrammes par litre (mg/l). L'oxygène dissous provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse réalisée par les plantes aquatiques. La solubilité de l'oxygène limite la quantité d'oxygène dissous disponible, qui ne peut dépasser 9 mg/l à 20°C (Kouamé, 2021). Cela dépend de plusieurs éléments tels que la température de l'eau, le niveau d'éléments dissous dans le milieu, ainsi que la pression partielle de l'oxygène dans l'atmosphère. Par ailleurs, la présence de grandes quantités de matières organiques dans les eaux, généralement d'origine humaine, peut entraîner une carence en oxygène dissous dans l'environnement aquatique. Cela est dû à l'absorption d'oxygène par les microorganismes qui décomposent des substances organiques (Benkaddour, 2018).

### **3.4. Turbidité**

C'est une mesure indiquant la diminution de la clarté de l'eau. Ceci est attribué à la présence de substances non dissoutes en suspension qui ne résultent ni de l'érosion ni du lessivage des sols, ou de particules dérivées de la décomposition de matières animales et végétales. Elle est généralement exprimée en unités de turbidité néphélométriques (NTU) ou en unités de turbidité Formazin (FTU) (Benkaddour, 2018).

### **3.5. Matières en suspension**

Les particules de nature minérale et organique, de petite taille et/ou de densité réduite, sont appelées matières en suspension. Cela leur donne la possibilité de se mouvoir dans les cours d'eau sans entrer en contact avec le lit. La nature et la composition des particules en suspension dans les cours d'eau fluctuent considérablement d'un cours d'eau à l'autre (sables, argiles, particules organiques, plancton, etc.). Elles sont influencées par les caractéristiques des terrains parcourus, les saisons, la quantité de précipitations, les rejets et la croissance des microorganismes (Kouamé, 2021). En général, les substances en suspension jouent un rôle dans la composition de l'eau par le biais de processus d'échange d'ions ou d'adsorption,

affectant aussi bien les éléments chimiques en traces que les micro-organismes. Des niveaux élevés de matières en suspension peuvent bloquer l'accès à la lumière, réduire l'oxygène dissous et avoir des impacts graves sur la santé biologique des rivières, comme la destruction de la végétation (Benkaddour, 2018).

#### **4. CONTAMINANTS CHIMIQUES DU POISSON, DE L'EAU DES ETANGS ET DES SEDIMENTS**

selon leur nature, deux types de contaminants chimiques existe : les contaminants chimiques inorganiques et les contaminants organiques (Ayad, 2012).

##### **4.1. Contaminants inorganiques ou Eléments Traces Métalliques**

Les Elements Traces Metalliques (ETM) sont les éléments chimiques qui ne subissent pas de dégradation. Leur emploi peut souvent provoquer des impacts toxicologiques significatifs sur l'environnement par leur accumulation dans le sol et/ou nuire à la santé humaine. Les plus toxiques sont le plomb, l'arsenic et le mercure (Ayad, 2012 ; Debiche, 2014). La notion « d'Eléments Traces Métalliques » est mal définie, néanmoins, Cette dernière remplace progressivement celle dénommée « métaux lourds ». L'expression générale « d'Eléments Traces Métalliques » est utilisée pour faire référence à des métaux et métalloïdes considérés comme toxiques, dont la concentration moyenne dans les sols est inférieure à 1 g/kg (Gouzy & Ducos, 2014). Historiquement, l'expression « métaux lourds » a été formulée au début du XXe siècle et englobait à l'époque le mercure, le plomb et le cadmium. Aujourd'hui, le terme « métaux lourds » est souvent utilisé de manière erronée dans le langage courant pour désigner une multitude d'éléments. L'usage des termes « métaux lourds » ou « éléments traces métalliques » varie en fonction du contexte et de l'objectif de l'étude à mener (Traore, 2007). Sous un angle strictement scientifique et technique, les métaux lourds sont définis comme tout métal ayant une densité supérieure à 5, un numéro atomique élevé ( $Z > 11$ ), et qui peut être toxique pour les systèmes biologiques (Hébrard-Labit & Meffray, 2019). Les éléments traces sont les quatre-vingt (80) éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieur à 0,1 %. Le terme éléments traces métalliques (ETM) est utilisé car regroupant les métalloïdes, les métaux vrais et des non-métaux (As, Se, B).

Les ETM peuvent être classés en 2 catégories (Debiche, 2014).

- ❖ Les ETM essentiels à la biologie cellulaire et à l'équilibre physiologique de tout être vivant : ce sont l'arsenic, le chrome, le cuivre, le nickel, le sélénium et le zinc. Un apport nutritionnel est conseillé, mais sans dépasser les doses de limite de sécurité pour le zinc et le sélénium. En effet, ces ETM sont toxiques à doses élevées.
- ❖ Les ETM dont la présence est indésirable pour l'organisme des êtres vivants de par leur faible seuil de toxicité et de par leur absence d'intérêt nutritionnel. Il s'agit du plomb, du cadmium et du mercure. Ces ETM que l'on appellera « contaminants » vont s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire par transfert du sol et de l'eau vers les plantes et les animaux, ainsi que par les retombées atmosphériques (Debiche, 2014).

## **4.2. Principaux Eléments Trace Métalliques du poisson, l'eau et du sédiment**

### **4.2.1. Arsenic**

Cet élément chimique existe sous diverses formes : pure, méthylée ou minérale.

#### **4.2.1.1. Sources de l'Arsenic**

L'Arsenic se trouve dans les secteurs de la production de colorants, de verre, de fonderie du plomb, du zinc et du cuivre, la fabrication de pesticides, le rembourrage d'animaux, la métallurgie ainsi que l'agriculture. La fumée de cigarette contient également de l'arsenic. L'Arsenic est également présent dans les eaux de surface ou souterraines dans certaines zones. Il est essentiellement issu de l'érosion naturelle des surfaces rocheuses, mais également des résidus issus de l'exploitation minière (Ouedraogo, 2016).

#### **4.2.1.2. Effets de l'Arsenic sur la santé**

D'après l'IBGE, l'exposition prolongée à de faibles niveaux d'arsenic entraîne généralement des symptômes affectant la peau, les muqueuses, le système nerveux, le foie, les reins et le système circulatoire. Les symptômes d'une intoxication aiguë par ingestion importante d'Arsenic (180 mg) incluent de la fièvre, une perte d'appétit, des vomissements, des diarrhées et des irrégularités cardiaques. Les premiers indices d'une exposition prolongée se manifestent par une décoloration de la peau et une diminution de la force musculaire. L'Arsenic est reconnu comme cancérigène pour l'être humain ; on observe une hausse de cas de cancer cutané et pulmonaire chez les travailleurs des usines où sont produits des pesticides à base d'Arsenic. L'analyse quantitative de l'arsenic dans les phanères (ongles et cheveux) permet d'établir aisément un diagnostic d'intoxication à l'arsenic (Ouedraogo, 2016).

---

#### 4.2.1.3. Seuil à risque

Dans un environnement industriel, la teneur en Arsenic dans l'air ne doit pas excéder 1 mg/m<sup>3</sup>. Pour les eaux minérales naturelles, le seuil maximal d'Arsenic autorisé est de 0,01mg/L. Les limites autorisées pour l'homme concernant les produits de la pêche (partie alimentaire) ne doivent pas excéder 0,2 mg/kg pour ce qui est de l'Arsenic (Boko *et al.*, 2022).

#### 4.2.2. Cadmium

Le Cadmium est un métal souple de couleur argentée qui présente des caractéristiques physiques très similaires à celles du zinc. Ce métal se trouve en association avec divers minerais tels que le zinc, le cuivre, le plomb et le phosphate (Boko *et al.*, 2022).

##### 4.2.2.1. Sources du Cadmium

Les principales origines des émissions de Cadmium d'origine humaine sont les secteurs métallurgiques et la combustion des déchets. Le tabac contient aussi des concentrations importantes de Cadmium. On récupère le Cadmium lors de la production du zinc, du plomb et du cuivre (Ouedraogo, 2016).

##### 4.2.2.2. Effets du Cadmium sur la santé

La plupart du Cadmium s'accumulant chez l'Homme est issu des pratiques agricoles (utilisation d'engrais phosphatés à forte teneur en cadmium, application de boues résiduelles dans les régions de culture maraîchère) mais également des procédés industriels (extraction et traitement du Zinc, du Plomb, etc.). Le Cadmium est un poison puissant et s'accumulant qui a une demi-vie biologique dans l'organisme humain de plus de 10 ans ; il se regroupe principalement dans les reins, qui sont par conséquent l'organe cible crucial, aussi bien pour la population générale que pour ceux exposés professionnellement. Une exposition prolongée à de petites quantités de Cadmium (issu de l'alimentation ou du travail) peut provoquer une néphrite qui pourrait se transformer en insuffisance rénale sévère. Il convient de noter que des troubles cardiovasculaires peuvent être observés, probablement dus à l'effet hypertensif du cadmium (Debiche, 2014 ; Ouedraogo, 2016).

##### 4.2.2.3. Seuil à risque

Le seuil normal est fixé à moins de 0,5 µg pour 100 ml de sang. Pour les eaux minérales naturelles, la concentration maximale autorisée en Cadmium ne doit pas excéder 0,003 mg/L. Il est interdit pour l'homme de consommer plus de 0,05 mg/kg de Cadmium dans les produits

---

de la pêche (partie comestible) par jour ou par semaine. La concentration maximale de rejet dans l'atmosphère du cadmium est de 0,2 mg/L (Ouedraogo, 2016).

#### **4.2.3. Plomb**

Le Plomb, l'un des métaux toxiques abondant dans la croûte terrestre, se retrouve dans tous les éléments terrestres (hydrosphère, atmosphère, sol...). Il peut exister sous diverses formes chimiques, que ce soit minérales comme le plomb pur (PbO) ou sous forme de ions cationiques. Le cation divalent (Pb<sup>2+</sup>) est l'espèce la plus répandue (Debiche, 2014 ; Ouedraogo, 2016).

##### **4.2.3.1. Sources du Plomb**

Le Plomb (Pb) est un métal dense qui se trouve naturellement dans la croûte terrestre. Il possède de multiples applications industrielles. Du fait de son utilisation répandue, le Plomb se retrouve partout dans l'environnement. Lorsque l'eau potable à pH acide passe par des tuyaux en Plomb ou contenant des soudures au Plomb, cela peut constituer une source d'exposition. Cependant, cette voie ne correspond généralement qu'à une fraction minime de l'absorption totale quotidienne pour les populations. Les principales réserves de plomb sont localisées en Australie, aux États-Unis, au Canada, au Mexique, au Pérou et en Russie. Les États-Unis utilisent la moitié de la production mondiale. Le plomb est le métal non ferreux le plus récupéré et recyclé (Ouedraogo, 2016).

##### **4.2.3.2. Effets du Plomb sur la santé**

L'intoxication au plomb, qui est un poison cumulatif, peut provoquer le saturnisme sur le long terme. Une de ses manifestations aiguës est la colique de plomb, qui entraîne une crise abdominale extrêmement douloureuse. D'après l'auteur cité, le plomb a une préférence d'action sur le système nerveux (à la fois central et périphérique), les reins et la moelle osseuse. Le saturnisme est une maladie qui est directement et uniquement associée à l'ingestion de plomb (Olivier *et al.*, 1999). Une exposition prolongée, même à des taux de plomb relativement faibles, ou une exposition à court terme à des concentrations élevées peuvent avoir de graves conséquences sur la santé humaine. L'exposition aiguë peut entraîner des coliques et des encéphalites, parfois accompagnées d'ataxie, de convulsions, de coma et même de décès. En revanche, l'exposition chronique peut engendrer chez l'enfant une déficience dans son développement intellectuel, des troubles du comportement, une dégradation de la fonction auditive et un retard dans la croissance. Les signes précoces

peuvent inclure une fatigue persistante, de l'irritabilité, une diminution de l'appétit, de l'anémie, des douleurs abdominales, un champ d'attention réduit, des insomnies, de la constipation et des céphalées. Parmi les conséquences à long terme pour les adultes figurent une augmentation de la pression artérielle, de l'anémie, des troubles rénaux et potentiellement une altération du sperme. Durant la grossesse, le plomb se transmet de la mère au fœtus, et ce transfert est particulièrement accru si l'exposition a lieu pendant le troisième trimestre. Auparavant, on observait une hausse des fausses couches et des naissances d'enfants mort-nés parmi les femmes travaillant dans l'industrie du plomb, exposées à des concentrations élevées de ce métal (Ouedraogo, 2016).

#### **4.2.3.3. Seuil à risque**

Il y a un accord scientifique général qui suggère qu'une toxicité pourrait se produire à des concentrations allant de 100 à 150 µg par litre de sang. Pour les eaux minérales naturelles, le seuil maximal de plomb autorisé est de 0,01mg/L. Dans les produits de la pêche (partie comestible), le taux quotidien ou hebdomadaire toléré pour l'homme en ce qui concerne le plomb ne doit pas excéder 0,2 mg/kg (Ouedraogo, 2016).

#### **4.2.4. Mercure**

##### **4.2.4.1. Sources du Mercure**

Le mercure est un métal lourd toxique naturellement présent dans l'environnement, mais ses niveaux ont considérablement augmenté en raison des activités humaines. Les principales sources de mercure comprennent la combustion de combustibles fossiles, comme le charbon, dans les centrales électriques et les industries, qui libère des quantités importantes de mercure dans l'atmosphère, se déposant ensuite dans les sols et les plans d'eau (Pan *et al.*, 2025). Les procédés industriels, tels que la production de chlore, la fabrication de batteries et le traitement de minerais, contribuent également à la pollution par mercure à travers les déchets industriels et les émissions atmosphériques (Sunderland & Mason, 2024).

Dans le secteur minier, l'extraction de l'or à l'aide de mercure, notamment dans les petites mines artisanales, est une source majeure de contamination (Telmer & Veiga, 2023). Les produits de consommation, comme les thermomètres, les ampoules fluorescentes et les amalgames dentaires, contiennent également du mercure (Hsu *et al.*, 2023). Enfin, bien que moins significative comparée aux autres sources, l'utilisation de certains fertilisants peut aussi introduire du mercure dans les sols (Norton *et al.*, 2024).

#### 4.2.4.2. Effets du Mercure sur la santé

Le mercure est extrêmement toxique et peut entraîner divers effets nocifs sur la santé humaine. En particulier, l'exposition au mercure, surtout sous sa forme de méthylmercure, peut affecter le système nerveux central, provoquant des tremblements, des troubles de la mémoire, des changements de personnalité et des problèmes de coordination (Grandjean *et al.*, 2023). Chez les enfants et les fœtus, le mercure peut perturber le développement cérébral, entraînant des retards cognitifs et des troubles de l'apprentissage. Le mercure peut également endommager les reins, provoquant une altération des fonctions rénales, des douleurs lombaires et des problèmes de miction (Rice *et al.*, 2024). Une exposition chronique au mercure est associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires, telles que l'hypertension et les maladies coronariennes (Sunderland & Mason, 2024). De plus, le mercure peut perturber la fonction immunitaire, augmentant la susceptibilité aux infections et aux maladies auto-immunes (Goyer, 2023).

#### 4.2.4.3. Seuil à risque

Les seuils de sécurité pour l'exposition au mercure varient en fonction de sa forme et de la voie d'exposition. Pour le mercure inorganique, l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis ont fixé une limite d'exposition professionnelle à 0,1 mg/m<sup>3</sup> (OSHA, 2023). En ce qui concerne le méthylmercure, la Food and Drug Administration (FDA) et l'Environmental Protection Agency (EPA) recommandent un niveau maximal de 0,1 µg/kg de poids corporel par jour pour les adultes, ainsi que pour les enfants et les femmes enceintes afin de protéger leur santé. À l'échelle internationale, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) fixe une limite d'exposition chronique au méthylmercure à 0,5 µg/kg de poids corporel pour minimiser les risques sanitaires (WHO, 2023).

### 4.3. Contaminants chimiques organiques

Il existe plusieurs contaminants chimiques organiques, dont les résidus de pesticides, Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH), Les polychlorobiphényle (PCB), les additifs alimentaires. La classification de ces contaminants dépend de l'étude, des objectifs... . Dans la suite l'accent a été mis sur les résidus de pesticides.

#### 4.3.1. Résidus de pesticides

Un pesticide est défini comme « une substance ou un mélange de substances conçu pour éloigner, éliminer ou lutter contre les nuisibles, y compris les vecteurs de maladies humaines

ou animales, ainsi que toutes autres espèces végétales ou animales nuisibles ou gênantes lors de la production, la transformation ou le stockage des produits agricoles ». Considérés comme "tueurs de fléaux" par certains étymologistes, ce sont des molécules dont les propriétés toxiques permettent de lutter contre des organismes nuisibles à l'homme et/ou à son environnement. Ils peuvent aussi jouer sur la santé de l'homme (Belmehel, 2019). On distingue plusieurs classes de pesticides. En effet, les pesticides sont le plus souvent classés en fonction du ravageur visé, par la nature chimique des substances actives (Alain *et al.*, 2007).

### 4.3.2. Classification des pesticides

#### 4.3.2.1. Classement par cible

Selon le ravageur visé on a : les insecticides (insectes), acaricides (acariens), aphicides (pucerons), ovicides (œufs), larvicides (larves), herbicides (plantes indésirables), fongicides (champignons), molluscicides (mollusques), hélicides (escargots), rodenticides (rongeurs), taupicides (taupes), corvicides (oiseaux), termicides (termites), et les produits répulsifs (Alain *et al.*, 2007). De tous ces pesticides, les plus utilisés sont les herbicides, les insecticides et les fongicides.

#### ❖ Herbicides

Aussi appelé dés herbants, les herbicides sont des substances chargées de détruire ou de ralentir la croissance des mauvaises herbes, nommées adventices. Ces dernières diffèrent les unes des autres en termes de méthode d'entrée dans les plantes et de mouvement à l'intérieur de celles-ci (Maachou & Otmane, 2016). Ils perturbent l'activité de divers processus de croissance et développement des plantes, tels que :

- la physiologie de la plante : photosynthèse ou perméabilité des membranes ;
- la croissance : division cellulaire, allongement, etc. ;
- la biosynthèse des composants cellulaires : lipides, pigments caroténoïdes, acides aminés, etc (Batsch, 2011).

#### ❖ Fongicides

Les fongicides sont des substances conçues exclusivement pour éliminer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux. Ils sont utilisés à titre « préventif », « curatif » ou « d'éradiquant » (Azzouz, 2012). Leur mode d'action, peut être observé sur un seul site (fongicide unisite), ou sur plusieurs cibles (fongicide multi-sites). La majorité des fongicides appliqués n'interviennent que sur un unique point d'action pour interrompre ou

déstabiliser une réaction essentielle à la survie du champignon, ce qui occasionne la destruction de la cellule. Toutefois, si ces cellules subissent une mutation au site précis où agit le fongicide, celui-ci risque de perdre son efficacité car il ne sera plus capable d'identifier sa cible. Cela entraîne ce qu'on désigne comme une résistance du pathogène au fongicide. Dans ce contexte, les fongicides à multiples sites constituent des partenaires de choix puisque l'établissement d'une résistance chez le pathogène nécessite la mutation de plusieurs cibles, un phénomène qui n'est jusqu'à présent jamais survenu (Batsch, 2011).

#### ❖ Insecticides

Les insecticides sont des substances destinées à détruire les insectes pour assurer la protection des cultures. Largement utilisés en agriculture pour éliminer les ravageurs, ils sont également présents dans l'environnement domestique sous forme de spécialités contre les poux, de médicaments vétérinaires, d'insecticides ménagers, de produits de jardinage. Considérés comme des substances neurotoxiques, leurs effets sur le système nerveux se traduisent par l'interruption de la transmission de l'influx nerveux au sein des neurones et synapses, aussi bien dans le système nerveux central que périphérique (Calvet *et al.*, 2005). Certains insecticides agissent en perturbant la physiologie de la reproduction de l'insecte (perturbateurs de mue) alors que d'autres inhibent la production de chitine, élément constitutif majeur de l'exosquelette des insectes (Batsch, 2011). Les insecticides peuvent également cibler les larves et les œufs d'insectes.

#### 4.3.2.2. Classement des pesticides selon la nature chimique des substances actives

Les pesticides sont aussi classés en fonction de leur substance active, autrement dit leur groupe chimique. Il existe deux groupes de pesticides selon la nature des substances actives dont, les pesticides organiques et les pesticides inorganiques (Garcia *et al.*, 2021). Plus de 100 familles de pesticides organiques existent. Les familles les plus fréquemment utilisées comprennent les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoides (Kolia, 2015).

#### 4.3.3. Principaux usages et rôle des pesticides

Les pesticides sont utilisés pour la protection des cultures afin d'assurer un bon rendement agricole, on parle alors de pesticide à usage agricole. Toutefois, ils sont aussi utilisés pour des usages non agricoles, afin de lutter contre des espèces végétales jugées envahissantes pour des

raisons de sécurité ou d'aménagements paysagers. On note aussi leur usage pour l'entretien des espaces de loisirs, pour les opérations de désinsectisation et de dératisation pour l'entretien des bâtiments, afin d'éliminer des rongeurs (souris, rats...) et d'insectes nuisibles (mouches, moustiques, termites ...) vecteurs de maladies transmissibles (Calvet *et al.*, 2005).

#### **4.3.4. Effets toxiques des pesticides**

L'industrie phytosanitaire use de tous les arguments pour convaincre du bien-fondé de l'usage des pesticides. Cependant et face à ces discours, les faits dévastateurs de ces produits sont bien là. Leurs utilisations croissantes depuis un demi-siècle, n'ont pas cessé d'avoir des impacts délétères sur l'environnement, la santé de l'homme et la biodiversité (Batsch, 2011).

##### **4.3.4.1. Dynamique et impact environnementaux des pesticides**

L'utilisation intensive des pesticides engendrent un effet néfaste sur l'environnement (Toé *et al.*, 2004). Pendant un traitement, 80 à 90 % des quantités de pesticides appliquées ne touchent pas la cible. En effet, durant le processus de pulvérisation, toutes les particules du pesticide ne se retrouvent pas sur la culture. Les pertes peuvent varier de 10 à 70 % au niveau du sol et de 30 à 50 % dans l'air. Les plantes, le sol ou même l'évaporation peuvent adsorber les substances actives. Une fois qu'ils se sont évaporés, les pesticides ont la capacité de s'accumuler dans les nuages, ce qui peut conduire à la présence de substances actives dans les eaux de pluie (Figure 6). La contamination des environnements aquatiques et la bioaccumulation de pesticides dans la faune aquatique, suivies d'une diffusion dans la chaîne alimentaire, peuvent être causées par la lixiviation, les pluies contaminées et les dérives pendant les applications (Serra *et al.*, 2016 ; Azizi & Zellagui, 2020). Les organismes qui se nourrissent des composantes du sol, de l'eau et de l'air sont affectés indirectement. La pollution environnementale causée par le pesticide dépendra de sa persistance, c'est-à-dire du temps nécessaire à sa décomposition dans l'environnement. Ce laps de temps dépend des processus de décomposition du pesticide, qui peuvent provenir de deux sources : abiotiques (sans participation d'organismes vivants) tels que l'hydrolyse, la photo-dégradation et les réactions d'oxydoréduction, ou biotiques (avec l'intervention d'organismes vivants) (Cadot *et al.*, 2015).

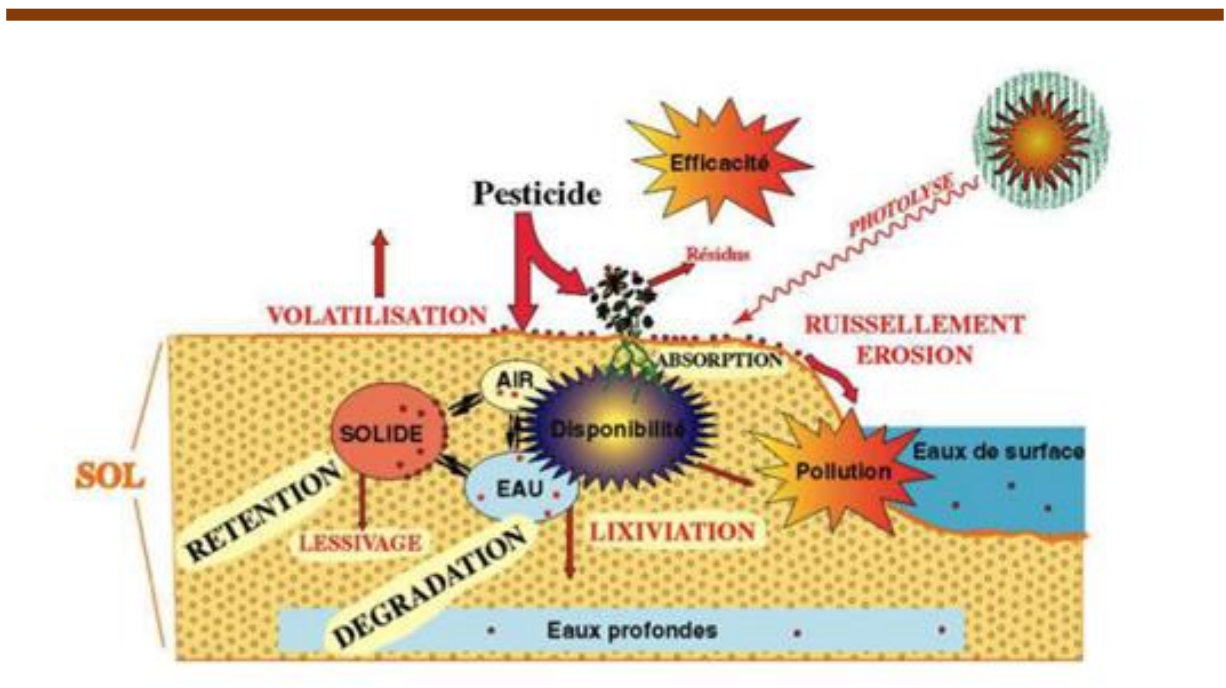


Figure 6 : Diffusion des pesticides dans l'environnement (Azizi & Zellagui, 2020)

#### 4.3.4.2. Effets des pesticides sur la santé humaine

L'homme peut être exposé aux pesticides, soit directement lors de l'utilisation, soit indirectement, par la présence de résidus dans les différents milieux (air, eau et sol...) et dans l'alimentation. L'exposition se produit, soit par inhalation, soit par contact cutané ou suite à l'ingestion d'aliments contaminés (Jestin-Guyon & Raherison-Semjen, 2024). Les effets aigus d'une contamination, surviennent en cas d'empoisonnements accidentels ou volontaires faisant suite à une exposition à de fortes doses. Les signes de contamination témoignant la transmission de ces molécules sont bien connus, et présentent en générale des brûlures chimiques oculaires, des lésions cutanées, des manifestations digestives et respiratoires, des effets neurologiques voire des troubles hépatiques. Les effets chroniques des pesticides en lien avec des expositions répétées et prolongées à de faibles quantités de pesticides sont eux moins bien connus, du fait du décalage entre l'exposition et la découverte d'une anomalie qui rend délicat l'établissement de la causalité (Errami & Olivier, 2012). Cependant, plusieurs études de recherches ont permis d'établir une relation entre exposition professionnelle aux pesticides et certaines maladies chez l'adulte telles que des problèmes de fertilité, de multiples cancers, des malformations prénatales ou encore des maladies neurologiques (Yao *et al.*, 2022).

#### 4.3.4.3. Effets des pesticides sur la biodiversité

Libérés dans l'environnement, les pesticides vont éliminer les organismes contre lesquels ils sont utilisés. Mais, la plupart de ces produits vont également toucher d'autres organismes que ceux visés au départ, tels que les vers, bactéries et autres champignons qui améliorent la fertilité des sols. Ils le sont également pour certaines espèces qui propagent la vie comme les insectes pollinisateurs. À moyen terme, leurs usages provoquent la résistance des espèces nuisibles et l'empoisonnement par bioaccumulation de toute la chaîne alimentaire. En milieu aquatique, devenu de nos jours une réserve des pollutions qui s'accumulent, la présence de pesticides compromet le cycle de vie des organismes qui y vivent. Chez certains poissons, on observe le développement de tumeurs, la perturbation des systèmes hormonaux, ou encore l'inhibition plus ou moins complète des fonctions vitales comme la respiration, la croissance et la reproduction. Les conséquences directes et indirectes de ces perturbations sur la biodiversité et la dynamique des populations (la flore et la faune terrestres et aquatiques) sont donc indéniables (Benabbes & Djelouat, 2020).

#### 4.3.5. Marché des pesticides

Le marché mondial des pesticides est évalué à environ 30 milliards de dollars par an, avec près d'un tiers de cette consommation en Europe, et environ 25 % chacun pour l'Amérique du Nord et l'Asie (FAO, 2023). Les États-Unis sont le plus grand consommateur de pesticides au monde, suivis de l'Inde et de Malte. Le Malte est le plus grand consommateur européen, devant Chypre et l'Italie (Smith *et al.*, 2023). À l'hectare, l'utilisation des pesticides est de 12 kg au Japon, 3 kg en Europe, 2,5 kg aux États-Unis, tandis que l'Inde utilise seulement 0,5 kg/ha, bien que ce pays soit l'un des plus grands producteurs mondiaux (Johnson *et al.*, 2024). En termes de répartition géographique, l'Europe utilise 27 % des pesticides mondiaux, suivie par l'Asie avec 26 %. L'Amérique latine consomme 22 %, l'Amérique du Nord 21 %, et l'Afrique, avec une consommation beaucoup plus faible, représente seulement 4 % (Lee *et al.*, 2023). Chaque année, ces produits sont responsables de l'empoisonnement de 3 millions de personnes, avec une estimation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) indiquant entre 20 000 et 200 000 décès, principalement dans les pays en développement où environ 30 % des pesticides commercialisés ne répondent pas aux normes de qualité internationales (Zhang *et al.*, 2024).

### 4.3.6. Résidus de pesticides

#### 4.3.6.1. Atrazine

Les atrazines appartiennent à la famille des triazines. Cette famille est caractérisée par la présence d'un cycle aromatique constitué de trois atomes d'azote et trois atomes de carbone. Les plus connues sont l'atrazine et la simazine le terbutryn et la cyanazine (Naili, 2014). En termes de traitements phytosanitaires, ils correspondent à des herbicides dont le premier, l'atrazine, a été breveté en Suisse en 1958 et retiré des traitements autorisés au sein de l'Union Européenne en 2003 (Canard, 2003). Cependant, il est encore utilisé dans certains pays en tant qu'herbicide de pré-émergence (au niveau du système racinaire) et post émergence (niveau foliaire) en inhibiteur de la photosynthèse, affectant le transport d'électrons entre le photosystème I et II. L'atrazine représente le triazine le plus utilisé dans le monde et ses effets délétères tels que la perturbation du système endocrinien chez de nombreuses espèces non ciblées (poissons, amphibiens, reptiles, mollusques) sont largement étudiés. Elles sont en général peu solubles dans l'eau et leur persistance dans les sols (DT50 de 14 jours à 4 ans), dans l'eau (DT50 de 6 mois à plusieurs années), sa faible biodégradabilité par les communautés microbiennes ainsi que son faible potentiel d'adsorption ont induit une contamination généralisée des eaux de surface et souterraines. Les valeurs toxicologiques de référence varient selon le composé : pour l'atrazine, la DL50 (oral, rat) est d'environ 1,000 mg/kg, avec une valeur de référence pour l'exposition chronique (RfD) de 0,003 mg/kg/jour ; pour la simazine, la DL50 est similaire, avec une RfD de 0,002 mg/kg/jour ; pour le terbutryn, la DL50 est d'environ 1,500 mg/kg, avec une RfD de 0,003 mg/kg/jour ; et pour la cyanazine, la DL50 est d'environ 1,200 mg/kg, avec une RfD de 0,001 mg/kg/jour. Cependant, certaines souches bactériennes aérobies se sont avérées efficaces dans la dégradation de l'atrazine. En Europe, et malgré son interdiction il y a plus de 15 ans, il est encore détecté dans l'environnement et notamment dans les ressources en eau. Ils sont assez fortement adsorbés sur le complexe argilo-humique (Le Cor, 2021). Les triazines peuvent avoir divers impacts sur la santé humaine, incluant des effets aigus tels que des nausées et des vertiges à des doses élevées, ainsi que des préoccupations de toxicité chronique, notamment des liens potentiels avec des effets endocriniens et certains cancers. Environnementalement, ces composés sont persistants et peuvent contaminer les eaux souterraines, suscitant des inquiétudes concernant la santé publique (Figure 7).

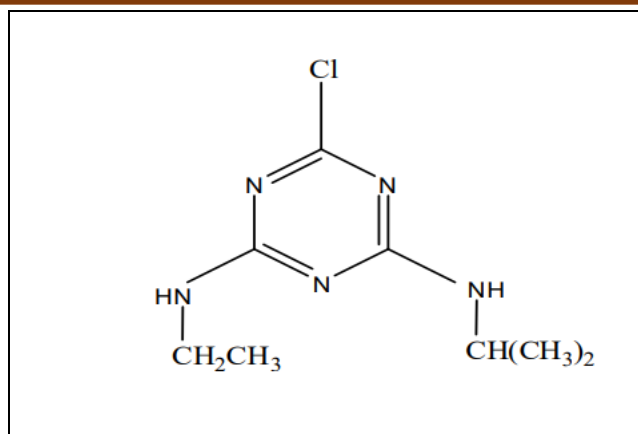


Figure 7 : Structure de l'Atrazine (Canard, 2003)

#### 4.3.6.2. Dérivés de l'urée

Les dérivés de l'urée, également connus sous le nom d'ureides, sont des composés chimiques dérivés de l'urée, souvent utilisés comme herbicides et fongicides dans l'agriculture. Parmi les dérivés de l'urée, des exemples notables incluent le diuron, l'isoproturon et le linuron. Ces substances agissent principalement en inhibant la photosynthèse, ce qui les rend efficaces pour contrôler les mauvaises herbes dans diverses cultures, notamment le maïs et le soja. Les valeurs toxicologiques de référence pour les dérivés de l'urée varient selon le composé spécifique : pour le diuron, la DL50 (oral, rat) est d'environ 1,500 mg/kg, avec une valeur de référence pour l'exposition chronique (RfD) de 0,01 mg/kg/jour ; pour l'isoproturon, la DL50 est d'environ 2,500 mg/kg, avec une RfD de 0,01 mg/kg/jour et pour le linuron, la DL50 est d'environ 1,300 mg/kg, avec une RfD de 0,01 mg/kg/jour. Les dérivés de l'urée peuvent avoir divers impacts sur la santé humaine, incluant des effets aigus tels que des nausées, des vomissements et des irritations cutanées à des doses élevées. En ce qui concerne la toxicité chronique, des études suggèrent que l'exposition prolongée pourrait être associée à des effets endocriniens et à des préoccupations concernant la fertilité. Environnementalement, ces composés peuvent persister dans l'environnement et contaminer les eaux. La rémanence de ces molécules est moyenne, leur demi-vie étant d'un à trois mois. Ils sont très solubles dans l'eau (Coly, 2000 ; Kolia, 2015) (Figure 8).

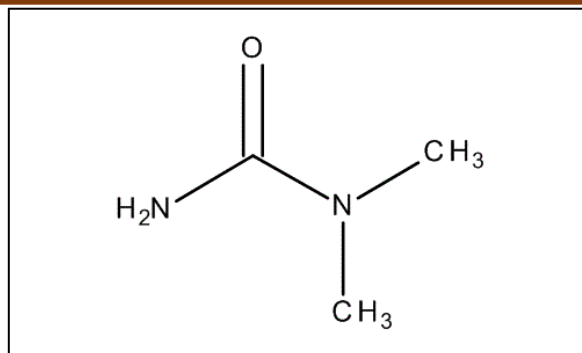


Figure 8: Structure de l'urée (Nesrine *et al.*, 2016)

#### 4.3.6.3. Chloroacétamide

L'usage principal du chloroacétamide, un herbicide systémique, est la gestion des mauvaises herbes dans les plantations de maïs, de soja et de pommes de terre. Ce produit fonctionne en empêchant la germination des semences et le développement des jeunes plants, ce qui lui confère une efficacité contre une vaste sélection de mauvaises herbes annuelles. En termes de toxicologie, la DL50 (oral, rat) du chloroacétamide est d'environ 1,800 mg/kg, avec une valeur de référence pour l'exposition chronique (RfD) de 0,005 mg/kg/jour. Les effets aigus de l'exposition au chloroacétamide peuvent inclure des symptômes tels que des nausées, des vomissements et des irritations cutanées. Concernant la toxicité chronique, des études ont suggéré des préoccupations potentielles liées à des effets sur le système endocrinien et la reproduction, bien que les données soient encore limitées. Environnementalement, le chloroacétamide peut persister dans le sol et contaminer les eaux souterraines, ce qui soulève des inquiétudes pour la santé publique et l'écosystème (Coly, 2000 ; Kolia, 2015).

#### 4.3.6.4. Carbamates

Les carbamates, dérivés de l'acide carbamique ( $\text{HOC(O)NH}_2$ ) sont des insecticides, herbicides et fongicides puissants largement utilisés dans l'agriculture (Kolia, 2015). Ils ont un large spectre d'action agissant principalement en inhibant l'enzyme acétylcholinestérase, ce qui perturbe la transmission nerveuse chez les insectes et d'autres organismes. Le carbaryl, l'aldicarbe, le carbofuran et le methomyl sont les carbamates les plus utiles. En termes de toxicologie, la DL50 (oral, rat) pour l'aldicarbe est d'environ 5 mg/kg, tandis que pour le carbofuran est d'environ 50 mg/kg et pour le methomyl, elle est d'environ 20 mg/kg. Les valeurs de référence pour l'exposition chronique (RfD) varient : pour l'aldicarbe, elle est de 0,0001 mg/kg/jour ; pour le carbofuran, elle est de 0,005 mg/kg/jour ; et pour le methomyl, elle est de 0,01 mg/kg/jour. Les effets aigus de l'exposition aux carbamates peuvent inclure des symptômes tels que des nausées, des vomissements, des tremblements musculaires et des

convulsions. Concernant la toxicité chronique, des études ont montré des préoccupations potentielles liées à des effets sur le système nerveux et la reproduction. Environnementalement, les carbamates peuvent persister dans le sol et contaminer les eaux, soulevant des inquiétudes pour la santé publique et l'écosystème (Coly, 2000 ; Kolia, 2015) (Figure 9).

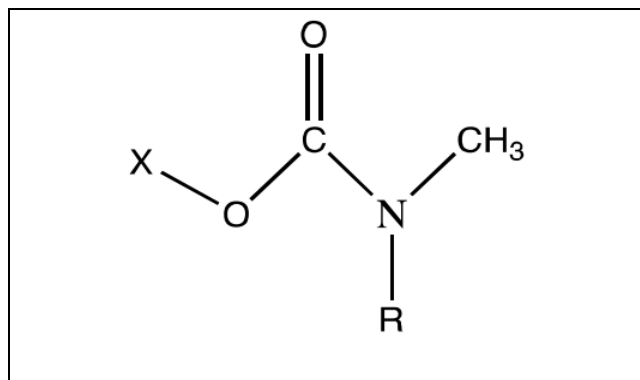


Figure 9: Structure générale de carbamate (Nesrine *et al.*, 2016)

#### 4.3.6.5. Organophosphorés

Les composés organophosphorés, qui se caractérisent par la présence d'un atome de phosphore, sont semblables aux composés organochlorés. Bien qu'ils soient la catégorie d'insecticides la plus toxique pour les vertébrés, leur faible persistance dans l'environnement et leur rapide dégradation dans un climat tropical sont notables. C'est la raison de leur présence en agriculture par rapport aux organochlorés (Coly, 2000). On les classe généralement en trois (03) catégories selon leur structure : aliphatiques, dérivés phénylés et hétérocycles. Ils sont typiquement volatils et se dissolvent dans les hydrocarbures non aliphatiques, et ils sont susceptibles de s'hydrolyser aisément en environnement alcalin. Ces substances agissent en inhibant l'enzyme acétylcholinestérase, ce qui perturbe la transmission nerveuse chez les insectes et d'autres organismes. En termes de toxicologie, la DL50 (oral, rat) pour le malathion est d'environ 1,000 mg/kg, pour le chlorpyrifos, elle est d'environ 95 mg/kg, et pour le parathion, elle est d'environ 10 mg/kg. Les valeurs de référence pour l'exposition chronique (RfD) varient : pour le malathion, elle est de 0,02 mg/kg/jour ; pour le chlorpyrifos, elle est de 0,0003 mg/kg/jour ; et pour le parathion, elle est de 0,0001 mg/kg/jour. Les effets aigus de l'exposition aux organophosphorés peuvent inclure des symptômes tels que des nausées, des vomissements, des maux de tête et des convulsions. Concernant la toxicité chronique, des études ont montré des préoccupations potentielles liées à des effets sur le système nerveux, la reproduction et le développement. Environnementalement, les organophosphorés peuvent

persister dans le sol et contaminer les eaux souterraines, soulevant des inquiétudes pour la santé publique et l'écosystème (Coly, 2000 ; Kolia, 2015) (Figure 10).

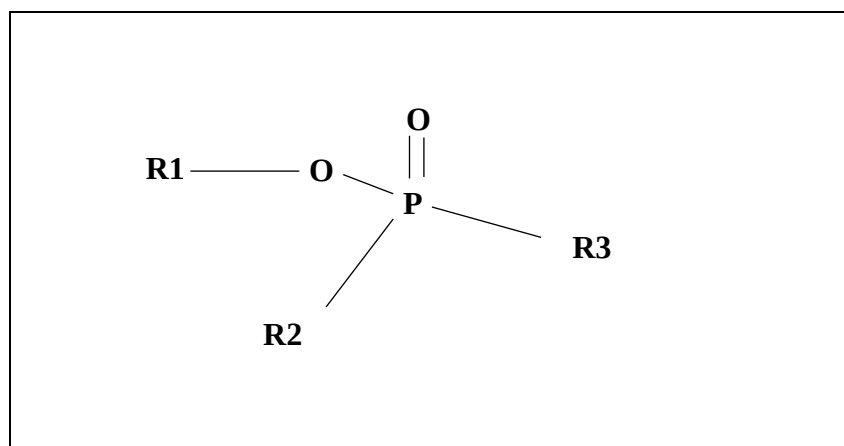


Figure 10: Structure des organophosphorés (Nesrine *et al.*, 2016)

#### 4.3.6.6. Dicarboximides

Les dicarboximides sont une classe de fongicides utilisés principalement pour le contrôle des maladies fongiques dans les cultures agricoles. Parmi les dicarboximides notables, on trouve le vinclozoline et le iprodione. Ces composés agissent en inhibant la synthèse des membranes cellulaires des champignons, ce qui les rend efficaces contre divers agents pathogènes fongiques. En termes de toxicologie, la DL50 (oral, rat) pour le vinclozoline est d'environ 1,500 mg/kg, tandis que pour l'iprodione, elle est d'environ 2,000 mg/kg. Les valeurs de référence pour l'exposition chronique (RfD) pour ces composés sont respectivement de 0,01 mg/kg/jour et 0,005 mg/kg/jour. Les effets aigus de l'exposition aux dicarboximides peuvent inclure des symptômes tels que des irritations cutanées et des troubles gastro-intestinaux. Concernant la toxicité chronique, des études ont suggéré des préoccupations potentielles liées à des effets sur le système endocrinien et la reproduction. Environnementalement, les dicarboximides peuvent persister dans le sol et contaminer les eaux souterraines, soulevant des inquiétudes pour la santé publique et l'écosystème (Kolia, 2015).

#### 4.4. Etude des contaminants chimiques

Différentes techniques d'analyse des composés chimiques existent. Pour les résidus de pesticides deux principales techniques analytiques de séparation sont généralement utilisées. Il s'agit de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) et la chromatographie en phase liquide (CPL). Le choix de la technique dépend de la nature des pesticides étudiés. L'ajout d'un spectromètre de masse à ces deux méthodes apporte de la spécificité tout en offrant un

---

outil de détection quasi-universel. Ainsi, le couplage de ces techniques chromatographiques avec la spectrométrie de masse permet une analyse fine et précise des résidus de pesticides, en les séparant puis en les identifiant de manière spécifique (Boufenaya, 2010).

#### 4.4.1. Chromatographie

La chromatographie est un ensemble de procédés applicables à des mélanges moléculaires ou ioniques, basés sur des différences de distribution des solutés entre une phase stationnaire et une phase mobile continuant. Selon la nature de la phase stationnaire et de la phase mobile, ainsi que la nature des interactions entre ces phases et les molécules du mélange, Il existe différentes méthodes chromatographiques (Boufenaya, 2010 ; Berkani, 2018). On a la chromatographie en phase gazeuse CPG, la chromatographie sur couche mince CCM, la chromatographie en phase liquide CPL, La chromatographie liquide à haute performance HPLC et La chromatographie en phase supercritique CPS. Par la suite, une attention particulière se portera sur la chromatographie liquide à haute performance. Cette méthode est une forme spécifique de la chromatographie sur colonne généralement utilisée pour séparer, identifier et quantifier les composés. Une caractéristique remarquable de cette méthode est qu'elle convient souvent à des composés organiques thermolabiles ou insuffisamment volatils pour pouvoir être analysée par chromatographie en phase gazeuse sans dérivation préalable. Il convient à la séparation d'une large gamme de produits chimiques, biochimique (Latifa, 2013 ; Berkani, 2018).

La HPLC utilise principalement une colonne qui contient la phase stationnaire, une pompe qui déplace la phase mobile à travers la colonne et un détecteur qui décèle le passage de chaque molécule à la sortie de la colonne. Le temps de rétention varie en fonction des interactions entre la phase stationnaire, les molécules analysées et le ou les solvants utilisés. L'échantillon à analyser est introduit en petit volume dans le flux de la phase mobile et est retardé par des interactions chimiques ou physiques spécifiques avec la phase stationnaire (Latifa, 2013). Le retard dépend de la nature de l'analyte et de la composition des phases stationnaire et mobile. Le moment auquel un analyte spécifique est élué (sort de la colonne) Il est appelé rétention. Les solvants couramment utilisés comprennent diverses combinaisons de liquides organiques, les plus courants sont le méthanol ou l'acétonitrile et l'eau (Figure 11) (Boufenaya, 2010). En tenant compte de la nature de la phase stationnaire, il existe deux types de HPLC. La chromatographie liquide à haute performance en phase normale et la chromatographie liquide à haute performance en phase inverse (Latifa, 2013 ; Boukertouta, 2021).

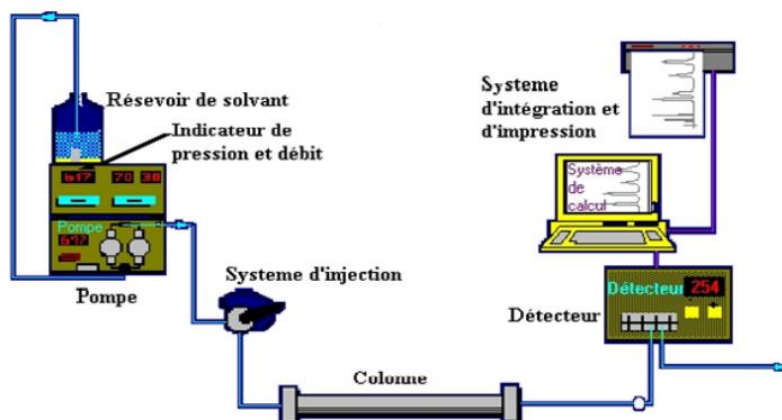


Figure 11: Principe de fonctionnement d'une chaîne HPLC (Saad, 2013)

#### 4.4.2. Spectrométrie de Masse (SM)

La spectrométrie de masse (SM) est une méthode destructive donnant accès à des informations importantes sur les molécules d'un échantillon. Elle permet la mesure de la masse moléculaire d'une substance et d'obtenir des données structurales. Cette méthode mesure les rapports masse/charge ( $m/z$ ) de molécules ionisées ainsi que de leurs produits de fragmentation. La SM fournit des informations qualitatives et quantitatives sur la composition atomique et moléculaire. Elle présente de nombreux atouts tel que la rapidité, sa sensibilité et sa spécificité qui ont été résumés par McLafferty par la qualification de « Méthode aux 3 S » : « Sensitivity, Specificity, Speed ».

Le fonctionnement de MS se fait par une volatilisation, une ionisation et la mesurer les rapports  $m/z$ . Classiquement, il est constitué de 3 parties principales dont une source d'ionisation pour faire passer les molécules en phase gazeuse et de les ioniser, un analyseur, qui sépare les ions en fonction de leur rapport masse-sur-charge ( $m/z$ ) et un détecteur couplé à un système informatique, qui assure le traitement des données et l'élaboration des spectres de masse (Canon, 2010) (Figure 12).

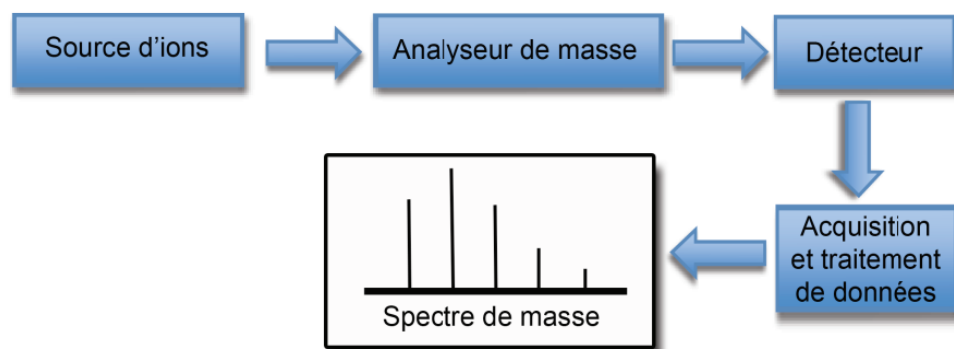


Figure 12. Représentation schématique d'un spectromètre de masse (Saad, 2013)

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES**

## 1. ZONE D'ETUDE

Située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, la Région du Haut-Sassandra s'étend sur une superficie de 15.200 km<sup>2</sup>, représentant environ 5 % du territoire national. Elle est baignée sur son flanc ouest par le fleuve Sassandra dont elle tire son nom (Haut-Sassandra) et qui constitue sa frontière ouest avec les Régions voisines du Guémon et du Tonkpi. Ses autres régions limitrophes sont le Worodougou et le Béré au Nord, le Gôh et la Nawa (Soubré) au Sud et la Marahoué à l'Est. Le Haut-Sassandra comprend quatre départements qui sont : Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu. Le climat de la Région est de type tropical avec une végétation composée principalement de forêt et de savane arborée et des sols généralement fertiles, profonds, favorables aux cultures pérennes et aux cultures vivrières. Le relief est constitué d'une pénéplaine de faible altitude générale. Enfin, la région présente des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables à l'aquaculture et aux cultures irriguées. Son réseau hydrographique est dominé par le fleuve Sassandra suivi par la Lobo et les grandes rivières de la DÊ et de la GÔRE (Koukougnon, 2020) (Figure 13).

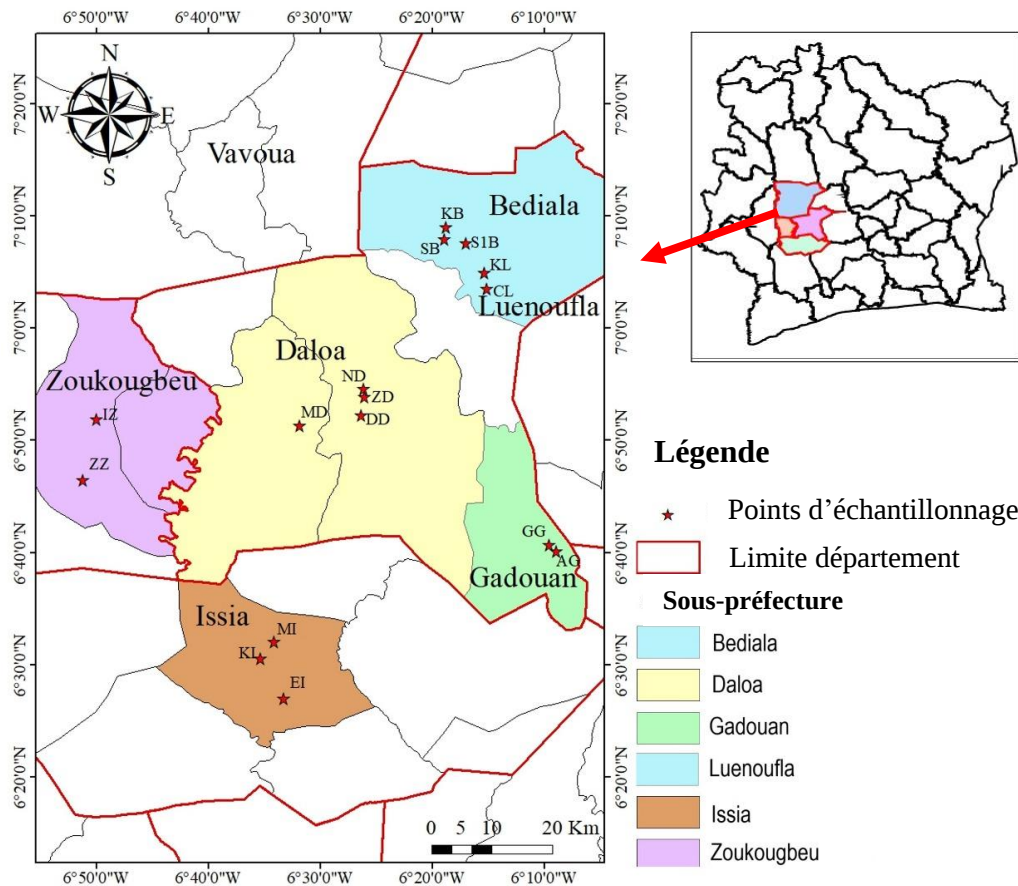


Figure 13 : Cartographie de la zone d'étude

## 2. MATERIEL

Le matériel utilisé dans cette étude est constitué de matériel biologique, de matériel de terrain et de matériel de laboratoire.

### 2.1. Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué d'eau d'étangs (A), de sédiments (B) et les ressources aquacoles notamment le poisson *Oreochromis niloticus* (C) (Figure 14).



Figure 14 : Différentes matrices utilisées

### 2.2. Matériel de terrain

Le matériel de terrain était constitué de fiches d'enquête (Annexe 1) élaborées avec le logiciel Sphinx, d'un GPS (Global Positioning System) pour la géolocalisation des fermes, d'un multi-paramètre pour la mesure des paramètres physico-chimiques et d'un bloc-notes pour les prises de note (Annexe 2).

### 2.3. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire utilisé est composé de matériel classique de laboratoire de biologie et de matériel spécifique à chaque analyse.

#### 2.3.1. Matériel d'analyses microbiologiques et biochimiques

Le matériel d'analyse microbiologique a été constitué d'appareillages, de milieux de cultures, de réactifs et de disques d'antibiotiques. L'appareillage était constitué d'un autoclave pour les stérilisations, d'un bain-marie pour la préparation et la surfusion des milieux de cultures, d'une étuve pour l'incubation des cultures, d'un réfrigérateur pour la conservation des

produits et d'un congélateur pour la conservation des souches bactériennes (Annexe 3). Ont aussi été utilisés, des boîtes de Pétri stériles (90 mm de diamètre), des flacons avec bouchon autoclavable pour la préparation des milieux de culture, des pipettes stériles, des tubes à vis pour les dilutions décimales et les tests biochimiques, des erlenmeyers pour les solutions mères, une anse de platine, des étaleurs, une bouteille de gaz avec bec Bunsen, des béchers, des sachets stomacher. Les milieux de cultures ayant servi à la réalisation de cette étude sont l'Eau Peptonée Tamponnée (EPT) (Condalab) pour la préparation des solutions mères et le pré-enrichissement pour la recherche des salmonelles. Les géloses Baird-Parker additionnées au jaune d'œuf au tellurite de potassium, E. coli-coliforms chromogenic medium (CONDA pronadisa), Bile Esculin Azide Agar ISO (Condalab) et Hektoen Enteric Agar ISO 21567 (CONDA pronadisa) ont servi au dénombrement respectif de *S. aureus*, *E. coli*, *Enterococcus* sp et *Salmonella* sp. Le bouillon Rapport Vassiliadis (RV) (CONDA) a été utilisé pour l'enrichissement de *Salmonella*. La Gélose Nutritive (GN) (Condalab) ordinaire a servi à la purification des souches bactériennes et le Bouillon Cœur Cerveille (BCC) supplémenté au glycérol a été utilisé pour la conservation des souches. La gélose Mueller Hinton (MH) (CONDA) a permis de réaliser l'antibiogramme. Une solution de NaCl (0,85 % p/v) a été utilisée pour la préparation d'inocula bactériens. Les tests de confirmation biochimiques ont été possibles grâce aux milieux DNase (Bio-rad), Mannitol (Bio-rad), l'urée, Hajna-Kligler (Bio-rad), Simmons citrate (Bio-rad), lysine fer (Bio-rad) et aux réactifs et consommable suivant : HCl (5 % p/v), eau physiologique, eau oxygénée (peroxyde d'hydrogène), réactif de KOVACS, disques d'oxydase (voir annexe 4). Aussi, la coloration de Gram a nécessité les réactifs comme le lugol, la fuchsine, le violet de gentiane et l'alcool. Les différents disques d'antibiotiques utilisés sont consignés dans le tableau VII.

Tableau VII : Antibiotiques testés sur les souches bactériennes

| Famille d'antibiotiques | Nom                               | Abréviation | Charge (µg) |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| Bêtalactamines          | Groupe A Ampicilline              | AM          | 2           |
|                         | C3G Ceftriaxone                   | CRO         | 30          |
|                         | C3G Cefotaxine                    | CTX         | 30          |
|                         | C2G Cefoxitine                    | FOX         | 30          |
|                         | Amoxicilline + acide clavulanique | AMC         | 30          |
| Tétracycline            | Doxycycline                       | DXT         | 30          |
| Aminoside               | Gentamicine                       | CN          | 10          |
|                         | Amikacine                         | AK          | 30          |
| Fluoroquinolones        | Norfloxacin                       | Nor         | 10          |
| Glycopeptide            | Vancomycine                       | VA          | 30          |
| Macrolide               | Azithromycine                     | AZM         | 15          |
| Aminoglycoside          | Kanamycine                        | K           | 30          |

### 2.3.2. Matériel d'analyses moléculaires

Le matériel d'analyse moléculaire a été constitué d'un bain-marie pour la réalisation des chocs thermiques. Les billes de verre et un vortex ont permis la réalisation des chocs mécaniques. Le phénol-chloroforme et une centrifugeuse ont servi à la séparation des constituants cellulaires. L'isopropanol et l'éthanol quant à eux ont permis la précipitation de l'ADN, un Mini thermocycleur (PTC-200 de MJ Research, Inc, USA) a été utilisé pour l'amplification des gènes et d'amorces spécifiques dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau VIII. Le milieu réactionnel a été composé de tampon PCR 10X contenant du chlorure de magnésium ( $MgCl_2$ ), des désoxyribonucléotides triphosphates (dNTPs), l'eau bi-distillée, d'amorces et d'extrait de l'ADN. L'agarose lyophilisée a servi à la préparation du gel de migration électrophorétique. Le Tris-Acétate-EDTA (TAE) a été utilisé pour la préparation du gel d'agarose et comme tampon pour l'électrophorèse. Le Gel red a été utilisé comme agent intercalant pour la visualisation des fragments d'ADN à l'aide d'un transilluminateur à rayon ultraviolet (Annexe 5). Les séquences nucléotidiques des gènes de virulence recherchés sont consignées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Séquences nucléotidiques des gènes de virulence recherchés

| Germes                     | Gènes       | Séquence de l'amorce (5'–3')                                      | Taille du gène | Références                  |
|----------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| <b><i>S. aureus</i></b>    | <i>seA</i>  | F : GGTTATCAATGTGCGGGTGG<br>R : CGGCACTTTTTTCTCTTCGG              | 102            | Valizadeh & Amini (2016)    |
|                            | <i>seB</i>  | F : GTATGGTGGTGTAACTGAGC<br>R : CCAAATAGTGACGAGTTAGG              | 164            |                             |
|                            | <i>seC</i>  | F : AGATGAAGTAGTTGATGTGTATGG<br>R : CACACTTTTAGAATCAACCG          | 451            |                             |
|                            | <i>seD</i>  | F : CCAATAATAGGAGAAAATAAAAAG<br>R : ATTGGTATTTTTTTTCGTTC          | 278            |                             |
|                            | <i>seE</i>  | F : AGGTTTTTTTCACAGGTCATCC<br>R : CTTTTTTTTCTTCGGTCAATC           | 209            |                             |
| <b><i>E. coli</i></b>      | <i>stX1</i> | F : ACACTGGATGATCTCAGTGG<br>R : CTGAATCCCCCTCCATTATG              | 614            | Chahed <i>et al.</i> (2007) |
|                            | <i>stX2</i> | F : CCATGACAACGGACAGCAGTT<br>R : CCTGTCAACTGAGCAGCACTTTG          | 779            |                             |
|                            | <i>st</i>   | F : TCTGTATTATCTTTCCCCTCTTTTAGTC<br>R : GTATTGTCTTTTTCACCTTTCGCTC | 169            |                             |
|                            | <i>lt</i>   | F : CCATACTGATTGCCGCAAT<br>R : CCATACTGATTGCCGCAAT                | 322            |                             |
| <b><i>Salmonella</i></b>   | <i>invA</i> | F : ACAGTGCTCGTTTACGACCTGAAT<br>R : AGACGACTGGTACTGATCTAT         | 244            | Chahed <i>et al.</i> (2007) |
|                            | <i>spvC</i> | F : GTCCTTGCTCGTTTACGACCTGAAT<br>R : TCTCTTCTGCATTTTCGTCA         | 571            |                             |
| <b><i>Enterococcus</i></b> | <i>gelE</i> | F' CGGAACATACTGCCGGTTTAGA<br>R' TGGATTAGATGCACCCGAAAT             | 704            | Hashem <i>et al.</i> (2017) |

### 2.3.3. Matériel d'analyses chimiques

Pour les analyses chimiques, divers matériels ont été utilisés afin d'assurer des conditions optimales d'expérimentation. Parmi ces équipements, se trouvent une spatule, ainsi qu'une coupelle en téflon pour les découpes. Une balance de précision de marque OHAUS a été utilisée pour des mesures exactes, accompagnée de contenants en téflon d'environ 50 mL munis de couvercles vissables. Une plaque chauffante Thermolyne, modèle 2200, associé à un bac à sable pour le contrôle des températures durant le processus. Un mortier et un pilon à surface lisse ont été utilisés pour la préparation des échantillons. Les pipettes, les embouts de micro-pipettes et les fioles volumétriques en plastique ont facilité le dosage précis des réactifs.

Pour la recherche des ETM, un spectromètre d'émission au plasma d'argon de marque Perkin Elmer, modèle Optima 3000 DV a été utilisé en conjonction avec une chambre de nébulisation cyclonique et un nébuliseur Burgener Peek Mira Mist (Annexe 6). Le module de

régulation de l'échantillonneur de marque Perkin Elmer et l'échantillonneur modèle AS90 avec plateau d'échantillonnage B ont permis un traitement efficace des échantillons. Une pompe péristaltique de marque Perkin Elmer dotée de trois tubes a été intégrée au système pour assurer un flux constant des liquides. Enfin, un circulateur d'eau de marque Neslab, modèle CFT-33 a été utilisé pour maintenir la température des échantillons. Des tubes de 15 mL en polypropylène (PP) de forme conique ont également été employés pour le stockage et le transport des échantillons.

Plusieurs réactifs ont également été utilisés, dont l'argon utilisé comme gaz de plasma pour l'analyse spectrométrique. Les acides nitrique et chlorhydrique ont servi pour la digestion et le nettoyage des échantillons, assurant ainsi une préparation adéquate pour l'analyse. Le peroxyde d'hydrogène à 30 % (V/V) a été employé comme agent oxydant, tandis que la chloramine-T a été utilisée pour des applications spécifiques de désinfection et de décontamination. Des solutions étalons ont également été préparées, incluant des standards de cadmium, chrome, cuivre, nickel, manganèse, plomb, strontium et zinc à une concentration de 1000 mg/L (qualité Plasma Cal), ainsi que des solutions étalons de mercure et de vanadium, permettant un calibrage précis des instruments. Pour le nettoyage des équipements, du savon Extran 300 a été utilisé, garantissant l'absence de contaminants. Une solution de lavage composée d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) à 0,2 % (V/V) a été appliquée pour le rinçage des matériels, tandis qu'une solution de chloramine-T à 0,250 g/L a été utilisée dans le circulateur pour maintenir des conditions de travail optimales.

### **3. METHODES**

#### **3.1. Mission exploratoire**

Une mission a consisté à interroger les premiers responsables des activités piscicoles et à visiter quelques fermes piscicoles. Il s'agit des responsables de l'Association Pisciculture et Développement Rural en Afrique tropicale humide (APDRA), de l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER) et les responsables des sociétés coopératives des fermes piscicoles. Les informations recueillies auprès de ceux-ci, associées à la revue de littérature ont fourni les informations nécessaires pour l'élaboration de la fiche d'enquête.

### 3.2. Enquêtes de terrain

Les questionnaires élaborés ont servi à la réalisation d'une enquête auprès de 150 pisciculteurs dans la région du Haut-Sassandra de juin à septembre 2022. L'enquête a consisté à des interviews directes des pisciculteurs, à la visite de leurs fermes piscicoles avec le recueil des données. Cette enquête a permis la géolocalisation des fermes piscicoles, l'identification des types de pisciculture pratiqués, les activités environnantes, les espèces de poisson élevées, les pratiques alimentaires et sanitaires ainsi que les difficultés liées à cette activité.

### 3.3. Echantillonnage

Suite à l'enquête, un échantillonnage stratifié a été réalisé. Le type d'étang, les activités associées et environnantes, le système de production ont été les critères de la stratification retenue. Au total, 16 fermes visitées ont été retenues. Il s'agit de 8 fermes du département de Daloa, 4 fermes dans le département de Issia et 4 autres de Zoukoubgeu. Dans chaque département, les études ont porté sur le même nombre d'étangs barrage et d'étangs en dérivation. Sur chaque ferme choisie, deux étangs ont été pris en compte pour l'échantillonnage des eaux et des sédiments, dont un en amont et l'autre en aval de la ferme piscicole. Quant aux poissons, les échantillons ont été prélevés dans trois étangs de chaque ferme. A terme, sur chaque ferme, trois échantillons de poissons, deux échantillons d'eau et deux échantillons de sédiment sont prélevés pour les études.

### 3.4. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau d'étangs

Les paramètres physico-chimiques de l'eau d'étangs ont été pris *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre selon la méthode utilisée par Soro *et al.* (2021). La mesure a commencé par le calibrage du multi-paramètre avec de l'eau distillée pour garantir des mesures précises. A l'aide d'un contenant propre, l'eau d'étang collectée est homogénéisée. Ensuite, les sondes du multi-paramètre sont immergées dans l'eau. La lecture est faite après la stabilisation des valeurs. Les paramètres étudiés sont : le pH, la conductivité, la température, l'oxygène dissout, la conductivité, la salinité et la turbidité. Après lecture, les sondes de l'appareil sont nettoyées avec de l'eau distillée. Dans chaque étang choisi, trois valeurs ont été prises pour chaque paramètre. Aussi, un nettoyage et un calibrage sont effectués entre deux essais.

### 3.5. Mode de prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués dans les conditions aseptiques, dans des contenants stériles et dans les conditions de pêche habituelles. Le prélèvement des échantillons d'eaux a été

effectué à l'aide de bocaux en verre à large ouverture de capacité d'environ 250 mL selon la méthode décrite par Morrison & Smith (2011). L'eau des étangs a été prélevée en plongeant le bocal à environ 50 cm de profondeur de l'eau de l'étang. Le bocal est par la suite hermétiquement fermé, étiqueté et codifié en laissant un espace d'air d'au moins 2,5 cm entre l'eau et la fermeture du flacon.

Les poissons tilapia ont été prélevés selon la méthode utilisée par Coulibaly *et al.* (2018). Ils ont été pêchés dans les conditions habituelles de pêche avant la levée du soleil ou après le coucher du soleil à l'aide d'un filet maillant (2 à 3 cm). La pêche a débuté par l'alimentation des poissons d'un côté de l'étang. Cela a permis le regroupement des poissons. Ensuite, le filet a été déployé pour diviser l'étang en deux à partir du milieu. Une fois l'autre extrémité de l'étang atteinte, un mouvement circulaire est effectué pour encercler les poissons. Lorsque les deux extrémités du filet rejointes, le diamètre du cercle est réduit en tirant les extrémités hors de l'eau jusqu'à regrouper toutes les bordures inférieures du filet. Les poissons ont été pris en captivité dans le filet et sortis de l'eau.

Les échantillons de sédiments ont été prélevés selon la norme ISO 5567-12 et la méthode de Lionard *et al.* (2015). Ils ont été prélevés en raclant les premiers cm (< 5 cm) du fond des étangs à l'aide d'une pelle en inox préalablement nettoyée avec de l'alcool puis mis dans des sachets stomacher. Les sachets ont été bien fermés, étiquetés et codifiés.

### 3.6. Distribution et transport des échantillons

Pour les eaux des étangs, un échantillonnage composite a été réalisé. Ainsi, un échantillon est constitué de quatre (04) bouteilles de 250 mL d'eau prélevées aux quatre (04) points des étangs. L'ensemble des échantillons est mis dans une glacière contenant des accumulateurs de froid. Au total, 32 échantillons d'eaux issues de 16 étangs piscicoles de la région du Haut Sassandra ont été prélevés. Concernant les sédiments, deux échantillons de sédiments ont été retenus par ferme. Au total, 32 échantillons de sédiments de 500 g par échantillon issus des étangs piscicoles ont été prélevés. Pour les poissons, l'espèce de poisson dominante (*O. niloticus*) sur les fermes a été choisie. Cette espèce de poisson a fait donc l'objet des études analytiques pour la suite des travaux. Environ huit poissons à maturité d'au moins 250 g chacun ont été pris au hasard et mis dans un sachet stomacher. Le sachet a été soigneusement étiqueté et mis dans des glacières contenant de la glace. Trois (03) échantillons ont été retenus par ferme. Au total, 48 échantillons de poissons tilapia ont été collectés et acheminés au laboratoire pour analyse.

### 3.7. Etudes microbiologiques

#### 3.7.1. Préparation des milieux de culture

Les différents milieux de culture pour les différentes analyses ont été préparés selon les prescriptions des fabricants mentionnés sur les boîtes.

#### 3.7.2. Préparation des échantillons

Les échantillons d'eaux et sédiments ont été directement utilisés pour la préparation de la solution mère. Quant au tilapia, un prétraitement a été effectué. Il s'est agi de la dissection qui s'est faite à l'aide d'une lame de bistouri et d'une pince stérilisée dans de l'alcool éthylique 75 %. Les poissons frais ont été également nettoyés avec de l'alcool 75 %. L'analyse a porté sur les branchies et les viscères. Les branchies ont été sectionnées au niveau de leur insertion, puis la quantité de 25 g a été prélevée. Quant aux viscères, une ouverture entre la nageoire pelvienne et la nageoire anale a été faite à l'aide d'une lame de bistouri puis 25 g de viscères ont été retirés (Figure 15). Les paramètres microbiologiques étudiés ont été : *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* spp. et *Enterococcus* spp.



Figure 15 : Dissection du tilapia  
A : retrait des viscères; B : retrait des branchies

#### 3.7.3. Préparation des solutions mères

Une quantité de 25 g de chaque matrice solide à analyser (branchies et viscères du tilapia et de sédiments) et 25 mL de chaque échantillon d'eau des étangs ont été prélevés aseptiquement autour de la flamme sur une balance (KERN) dans des boîtes de Petri et renversée séparément

---

dans des flacons contenant 225 mL d'Eau Peptonée Tamponnée (EPT) stérile préalablement préparée. Le tout a été soigneusement homogénéisé. La solution obtenue a été laissée au repos pendant 30 minutes pour la revivification des germes.

#### **3.7.4. Dilution décimale**

Les dilutions ont été obtenues en mélangeant un volume de 1 mL de la solution mère avec 9 mL d'eau distillée stérile puis homogénéisé, ce qui correspond à la dilution  $10^{-1}$ . Des dilutions décimales successives ont été par la suite réalisées. Ainsi, à chaque fois, un (01) mL de la dilution précédente a été dilué dans 9 mL d'eau distillée stérile. Les dilutions de  $10^{-1}$  à  $10^{-2}$  ont ainsi été réalisées.

#### **3.7.5. Techniques d'analyses**

##### **3.7.5.1. Ensemencement, incubation et lecture**

###### **3.7.5.1.1. Recherche et dénombrement de *Enterococcus* ssp.**

Le dénombrement de *Enterococcus* a été réalisé sur la gélose BEA (Bile-Esculine Azide) comme décrit par la norme NF EN ISO 7899-2. L'ensemencement a été fait par étalement de 0,1 mL des dilutions retenues dans la boîte de Petri stérile contenant 20 mL de la gélose BEA préalablement coulée. Cette opération a été répétée afin d'obtenir pour chaque dilution retenue, deux (2) boîtes de Petri, soit deux essais. Les boîtes ont été par la suite laissées sécher autour du bec Bunsen puis incubées à l'étuve à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Les colonies caractéristiques de *Enterococcus* ssp. apparaissent noires sur la gélose BEA (Annexe 7). Les boîtes contenant 15 à 150 colonies ont été retenues et dénombrées.

###### **3.7.5.1.2. Recherche et dénombrement de *Escherichia coli***

La gélose *E. coli* coliform chromogenic a servi à l'isolement et au dénombrement de *E. coli* comme préconisé par la norme NF/ISO 16140 : 2013. L'ensemencement a été fait en étalant 0,1 mL des dilutions retenues dans une boîte de Petri stérile contenant 20 mL de la gélose *E. coli*-coliforms chromogenic medium. Cette opération a été répétée afin d'obtenir pour chaque dilution deux (2) boîtes de Petri, soit deux essais. Après séchage des boîtes autour du bec Bunsen, les boîtes ont été retournées et incubées à 44 °C pendant 24 à 48 heures. Les colonies bleues/violet sont suspectées d'être *E. coli* et celles rose saumon/marron ont été suspectées d'être des coliformes. Les boîtes contenant 15 à 150 colonies ont été retenues et dénombrées.

### 3.7.5.1.3. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus* ssp.

La gélose Baird-Parker additionnée au jaune d'œuf au tellurite et du sulphamethazine 0,2 % a servi à l'identification de *S. aureus* selon la norme française NF/ISO 6888 : 2004. L'ensemencement a été fait par étalement de 0,1 mL de chaque dilution retenue dans une boîte de Petri stérile contenant le milieu préalablement coulé. Cette opération a été répétée afin d'obtenir pour chaque dilution, deux (2) boîtes de Petri, soit deux essais. Après solidification des boîtes autour du bec Bunsen, elles ont été incubées à l'étuve à 37 °C pendant 48 heures. Les colonies caractéristiques étaient noires, brillantes, convexes et entourées d'une zone claire. Seules les boîtes comprenant entre 15 et 150 ont été considérées et dénombrées.

### 3.7.5.1.4. Recherche de *Salmonella*

La recherche de *Salmonella* a été effectuée selon la norme de référence NF/ISO 6579 : 2002 And 1 : 2007. Elle a été faite selon les 3 étapes suivantes :

#### ❖ Pré-enrichissement

Les solutions mères (EPT) des matrices à analyser ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures.

#### ❖ Enrichissement

Pour cette opération, un volume de 0,1 mL de la solution mère pré-enrichie a été prélevée puis transférée dans un tube contenant 10 mL de RV (CONDA) préalablement préparé et stérilisé. Après homogénéisation, le tube a été incubé à 41 °C pendant 24 heures.

#### ❖ Isolement de *Salmonella*

A partir de la culture d'enrichissement incubée, l'isolement de *Salmonella* a été fait sur la gélose Hecktoen (CONDA pronadisa). Après agitation de la culture dans le milieu Rappaport Vassiliadis (CONDA), une goutte y est prélevée prêt de la flamme du bec Bunsen à l'aide d'une anse de platine stérile. Cette culture a été ensemencée par strie à la surface d'une boîte de Petri contenant de la gélose Hecktoen (CONDA pronadisa). La boîte a été incubée à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Les colonies vertes ou bleues à centre noir sont les colonies présumptives de *Salmonella*.

### 3.7.5.2. Calcul du nombre de microorganismes

Le calcul du nombre de microorganismes par millilitre ou par gramme d'échantillon exprimé en (UFC/mL ou UFC/g) à partir du nombre de colonies obtenues dans les boîtes de Pétri choisies a été réalisé par l'équation décrite par Yaou *et al.* (2024) :

$$N = \frac{\Sigma Ci}{(N1 + 0,1N2)d.v} \quad (1)$$

$\Sigma Ci$  : Somme des colonies caractéristiques comptées sur toutes les boîtes retenues ;

$N_1$  : Nombre de boîtes retenues à la première dilution ;

$N_2$  : Nombre de boîtes retenues à la seconde dilution ;

$d$  : Taux de dilution correspondant à la première dilution considérée ;

$V$  : Volume ensemencé (mL) ;

$N$  : Nombre de microorganismes (UFC/mL).

### 3.7.5.3. Purification et conservation des souches bactériennes

Après lecture et dénombrement, deux colonies ont été prélevées sur chaque boîte de Pétri puis repiquées sur la gélose nutritive (Condalab) déjà coulée dans des boîtes de Petri. Au total, 80 isolats de *E. coli* présumptifs, 80 isolats de *S. aureus* présumptifs, 90 isolats de *Enterococcus* sp. présumptifs et 22 isolats de *Salmonella* présumptifs ont été conservées dans du bouillon cœur cerveau (BCC) supplémentée au glycérol 5 %. L'ensemble a été conservé au congélateur (NASCO) à une température de -20° C .

### 3.7.5.4. Test de confirmation des souches

Différents tests ont été réalisés, notamment les tests enzymatiques (catalase et oxydase) et morphologiques (coloration de Gram) pour tous les microorganismes ainsi que des tests biochimiques spécifiques à chaque microorganisme dont, le Portoir réduit de Leminor pour les entérobactéries (*E. coli* et *Salmonella*), les tests de DNase et mannitol pour *S. aureus*.

#### 3.7.5.4.1. Test morphologique (Coloration de Gram)

Le processus de coloration a débuté par la préparation du frottis. Le frottis a été effectué en mettant une goutte d'eau distillée stérile sur une lame. Une jeune colonie de 24 heures, repiquée sur la gélose nutritive (GN), a été prélevée à l'aide d'une pipette et mise en contact avec la goutte d'eau déposée sur la lame. Le frottis a été réalisé par des mouvements circulaires centrifuges de la colonie dans l'eau puis fixé en passant la facette de la lame ne portant pas le frottis dans la flamme bleue du bec Bunsen et séchée. Sur le frottis, du violet de gentiane a été appliqué puis lavé au bout de 60 secondes avec de l'eau du robinet. Ensuite, le lugol a été ajouté et rincé après 30 secondes avant d'ajouter de l'alcool qui est immédiatement rincé à l'eau du robinet. La fuchsine a été ajoutée à la fin de processus et rincée après 60

secondes. La lame a été séchée et l'observation a été faite au microscope à objectif 100, après application de l'huile d'immersion (Abozue, 2022).

#### **3.7.5.4.2. Recherche des enzymes respiratoires**

##### **❖ Test de catalase**

Le test de catalase a été réalisé en mettant sur une lame propre une goutte de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ). Une jeune colonie de 24 heures repiquée sur gélose nutritive (GN) a été prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur et barbotée dans la goutte d'eau oxygénée placée sur la lame (Abozue, 2022). L'apparition de bulles d'air indique une réaction positive (Annexe 8).

##### **❖ Test d'oxydase**

Le test d'oxydase est réalisé en déposant un disque d'oxydase sur une lame propre. Puis une colonie pure de 24 heures a été prélevée avec une pipette et mise en contact avec le disque. La présence de l'oxydase se manifeste par une coloration violette du disque au bout de 10 secondes (Abozue, 2022).

#### **3.7.5.5. Tests biochimiques de confirmation de *Staphylococcus***

##### **3.7.5.5.1. Recherche de la DNase**

Le milieu DNase (Bio-rad) a été préparé et coulé dans les boîtes de Petri à raison de 20 mL par boîte. Ces boîtes ont été par la suiteensemencées à partir d'une colonie de 24 h repiquée sur gélose nutritive. L'ensemencement a été fait soit par un point épais ou par un trait. Les boîtes de Petri ont été incubées en conditions aérobies pendant 18 à 24 h à 37 °C. Après incubation, les boîtes de Petri sont recouvertes avec une quantité suffisante de solution d'acide chlorhydrique (HCl) 1 N (Cheesbrough *et al.*, 2004). Après deux minutes, une zone translucide autour de l'ensemencement indique une DNase positive (Annexe 8).

##### **3.7.5.5.2. Fermentation du mannitol**

Le milieu mannitol (Bio-rad) a été préparé et coulé dans des boîtes de Petri. Ensuite, ces boîtes ont été inoculées à partir d'une colonie de 24 heures repiquée sur gélose nutritive. Après incubation à 37 °C pendant 24 heures, l'apparition d'une couleur jaune signale que l'isolat a utilisé ou hydrolysé le mannitol (Cheesbrough *et al.*, 2004).

#### **3.7.5.6. Test de confirmation de *E. coli* et *Salmonella***

La confirmation des souches de *E. coli* et *Salmonella* a été faite à l'aide du Portoir réduit de Leminor qui compte plusieurs tests que sont :

---

#### **3.7.5.6.1. Test d'urée indole**

Ce milieu a été utilisé pour la recherche de production d'uréases, d'indole et du tryptophane désaminase (TDA) des isolats.

##### **▪ Recherche d'uréase**

Une colonie de 24 heures repiquée sur gélose nutritive a été prélevée et inoculée dans un tube contenant 1 mL du milieu à base d'urée. Le tube a été incubé à 37 °C pendant 24 heures. Le passage du milieu de l'orange au rose ou au rouge violacé indique la présence d'uréase (Boubertakh & Bouaker, 2019).

##### **▪ Recherche d'indole et du tryptophane désaminase**

Suite à l'incubation de l'urée pendant 24 heures, le contenu du tube a été scindé en deux. Une goutte du réactif KOVAC a été mise dans un tube pour la détection de l'indole, tandis que deux gouttes de perchlorure de fer ont été ajoutées dans le deuxième tube pour la détection de la tryptophane désaminase. Un résultat positif à l'indole est indiqué par la présence d'un anneau rouge vif ou rose distinctif sur la surface de l'urée. Un TDA positif est indiqué par la formation d'un précipité de couleur brun foncé.

#### **3.7.5.6.2. Ensemencement du Milieu Kligler Hajna**

Le milieu Kligler Hajna a été distribué en tubes à raison de 10 mL par tube, stérilisé et refroidi en position inclinée avec une base d'environ 3 cm. Avec une pipette Pasteur, une jeune colonie repiquée sur GN a été récupérée et inoculée dans le milieu. Le culot a été inoculé par piqûre et la pente par stries serrées. Les tubes ont été incubés à 37 °C pendant 18 et 24 heures. Les caractères tels que, la fermentation du glucose, du lactose, la production de gaz ou non et la réduction de l'acide sulfurique en sulfure ont été lus.

#### **3.7.5.6.3. Ensemencement du milieu Mannitol Mobilité**

A l'aide d'une pipette Pasteur, une colonie bien isolée a été prélevée et inoculée par piqûre centrale jusqu'au fond du tube contenant le milieu Mannitol Mobilité, qui a été préalablement préparé et coulé dans le tube à raison de 6 mL. Après incubation à 37° C pendant 24 heures le virage de la couleur orange au jaune traduit un mannitol positif et la diffusion de la bactérie dans le milieu traduit une mobilité positive.

#### **3.7.5.6.4. Ensemencement du milieu Lysine Fer**

Le milieu Lysine Fer a été réparti à raison de 10 mL par tube, puis stérilisé et laissé refroidit en pente avec un culot de 3 cm. Le culot a été ensemencé par piqûre centrale et la pente par

stries serrées. Après 18 h à 24 h d'incubation à 37 °C, la production de Lysine décarboxylase (LDC) a été lue sur la pente et celle de la Lysine désaminase (LDA) a été lue dans le culot (Abdi *et al.*, 2022). Le virage de la couleur de la pente au rouge vineux et du culot au jaune traduit respectivement une LDA<sup>+</sup> et une LDC<sup>-</sup>.

#### **3.7.5.6.5. Ensemencement du milieu Citrate de Simmons**

Le milieu Citrate de Simmons a été préparé et reparti dans des tubes en raison de 6 mL par tube puis stérilisé et laisser refroidi en pente sans culot. La pente a été ensemencée par stries longitudinales à partir d'une jeune colonie de 24 heures et incubée à 37 °C pendant 24 heures. L'utilisation du carbone du citrate comme unique source d'énergie par la bactérie a été révélée par le changement de la couleur du milieu en bleue.

#### **3.7.6. Détermination des gènes de virulences des souches**

La recherche des gènes de virulences a été faite par des réactions de polymérisations en chaîne (PCR). Elle a été faite en plusieurs étapes, dont l'extraction de l'ADN, l'amplification et la visualisation.

##### **3.7.6.1. Extraction d'ADN des germes isolés par la méthode de phénol-chloroforme**

L'ADN des bactéries concernées (*E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus* et *Salmonella*) a été extrait en utilisant la technique de phénol-chloroforme. Elle a débuté par des pré-cultures bactériennes sur le milieu Laura Bertani (LB). Ces cultures ont été mises dans des tubes Eppendorf, puis centrifugées à 12000 rpm pendant 5 minutes et le culot a été récupéré. Un choc thermique a été effectué à 90 °C pendant 5min à ce culot. Cette opération a été répétée, puis 500 µL de tampon de lyse et de bille de verre y ont été ajoutés. L'ensemble a été agité au vortex pendant 5 min et 500 µL de chloroforme ont été ajoutés et centrifuger à 12000 rpm pendant 5 min. Après centrifugation, le surnageant a été transféré dans un nouveau tube Eppendorf. Une quantité de 400 µL de chloroforme a été ajoutée à nouveau, homogénéisée (1 à 2 min) et centrifugée à 12000 rpm pendant 5 min. Le surnageant a été récupéré dans un nouveau tube Eppendorf. L'ADN a été par la suite précipité en ajoutant 500 µL d'isopropanol/éthanol absolu froid (100 %), puis agité au vortex (L'isopropanol/éthanol absolu a été mis au congélateur avant son utilisation). L'ensemble a été mis à -20° C pendant 1 heure puis centrifugé (12000 rpm/10 min). Le culot a été récupéré et rincé en ajoutant 500 µL d'éthanol 70°, puis centrifugé (12000 rpm/5 min). Le surnageant a été versé et l'ADN a été à nouveau lavé en ajoutant 500 µL d'éthanol 70° à -20° C. Le culot a été séché à l'étuve à

37° C/30 min puis 50 à 100 µL de tampon TE y ont été ajouté pour sa conservation pour des études ultérieures.

### 3.7.6.2. Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR)

#### 3.7.6.2.1. Préparation et composition du mélange réactionnel

La PCR a été réalisée suivant le protocole modifié d'une étude menée par Diassana (2018). Un volume total de 20 µL a été utilisé pour la recherche des gènes de virulence pour chaque bactérie. Une PCR en multiplexe a été effectuée sur toutes les souches isolées à l'exception de *Enterococcus* sur lequel une PCR en simplexe a été effectuée. Les différents constituants du mix réactionnel et leurs volumes sont consignés dans les tableaux IX, X, XI, XII ci-dessous.

Tableau IX : Composition du mélange réactionnel pour la recherche de gènes *gelE*

|              | Composantes             | Quantité en µL |
|--------------|-------------------------|----------------|
| Amorces      | <i>gelE</i> (sens)      | 1              |
|              | <i>gelE</i> (anti sens) | 1              |
| ADN          |                         | 2              |
| Master mix   |                         | 10             |
| Eau          |                         | 6              |
| <b>Total</b> |                         | <b>20</b>      |

Tableau X : Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes *stX1* et *stX2*

|              | Composantes              | Quantité en µL |
|--------------|--------------------------|----------------|
| Amorces      | <i>stX 1</i> (sens)      | 1              |
|              | <i>stX 1</i> (anti sens) | 1              |
|              | <i>stX 2</i> (sens)      | 1              |
|              | <i>stX2</i> (anti sens)  | 1              |
| ADN          |                          | 2              |
| Master mix   |                          | 10             |
| Eau          |                          | 4              |
| <b>Total</b> |                          | <b>20</b>      |

Tableau XI: Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes *invA* et *spvC*

| Composantes  |                         | Quantité en $\mu\text{L}$ |
|--------------|-------------------------|---------------------------|
| Amorces      | <i>invA</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>invA</i> (anti sens) | 1                         |
|              | <i>spvC</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>spvC</i> (anti sens) | 1                         |
| ADN          |                         | 2                         |
| Master mix   |                         | 10                        |
| Eau          |                         | 4                         |
| <b>Total</b> |                         | <b>20</b>                 |

Tableau XII: Composition du mélange réactionnel pour la recherche des gènes *seA* -*seE*

| Composantes  |                        | Quantité en $\mu\text{L}$ |
|--------------|------------------------|---------------------------|
| Amorces      | <i>seA</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>seA</i> (anti sens) | 1                         |
|              | <i>seB</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>seB</i> (anti sens) | 1                         |
|              | <i>seC</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>seC</i> (anti sens) | 1                         |
|              | <i>seD</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>seD</i> (anti sens) | 1                         |
|              | <i>seE</i> (sens)      | 1                         |
|              | <i>seE</i> (anti sens) | 1                         |
| ADN          |                        | 2                         |
| Master mix   |                        | 4                         |
| Eau          |                        | 4                         |
| <b>Total</b> |                        | <b>20</b>                 |

### 3.7.6.2.2. Amplification des gènes de virulence

L'amplification a été faite à l'aide d'un mini thermocycleur (PTC-200 de MJ Research, Inc, USA) en utilisant des programmes spécifiques aux différentes amorces. Chaque programme était constitué d'une dénaturation initiale des brins d'ADN suivie d'un cycle incluant une

dénaturation, une hybridation et une élongation et enfin une élongation finale. Les amplicons obtenus ont par la suite été migrés sur gel d'agarose. Les programmes d'amplification sont résumés dans le Tableau XIII.

Tableau XIII : Programmes d'amplification des gènes étudiés

| Gènes            | Paramètres | Dénaturation |              | Hybridation | Elongation | Elongation finale | Nbre de cycles |
|------------------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|-------------------|----------------|
|                  |            | Initiale     | Dénaturation |             |            |                   |                |
| <i>invA/spvC</i> | T (°C)     | 94,0         | 94,0         | 56,0        | 72,0       | 72,0              | 30             |
|                  | d (s)      | 60           | 30           | 60          | 120        | 600               |                |
| <i>stX1/stX2</i> | T (°C)     | 95,0         | 95,0         | 58,0        | 72,0       | 72,0              | 35             |
|                  | d (s)      | 180          | 20           | 40          | 90         | 300               |                |
| <i>IT/sT</i>     | T (°C)     | 94,0         | 94,0         | 60,0        | 72,0       | 72,0              | 35             |
|                  | d (s)      | 300          | 45           | 60          | 60         | 420               |                |
| <i>seA-seE</i>   | T (°C)     | 94,0         | 94,0         | 57,0        | 72,0       | 72,0              | 35             |
|                  | d (s)      | 300          | 30           | 40          | 45         | 600               |                |
| <i>gelE</i>      | T (°C)     | 95           | 95           | 40°         | 72         | 72                | 40             |
|                  | d (s)      | 120          | 15           | 60          | 30         | 900               |                |

T : température ; d : durée ; Nbre : Nombre

### 3.7.6.2.3. Electrophorèse

La séparation des produits de la PCR a été réalisée sur gel d'agarose (1,5 %). Le gel a été préparé dans du Tris-Acetate-EDTA (TAE) à 1 X. L'ensemble a été mis au micro-onde pendant environ 2-3 minutes. A ce mélange, du gel Red a été ajouté à une quantité 1 % du mélange. Le mélange a été par la suite coulé dans des plaques d'électrophorèse, plaques montées d'un peigne sur une surface plane bien ajustée et laissé polymériser pendant environ 30 min. Une fois polymérisés, les peignes ont été retirés et les gels ont été placés dans une cuivre d'électrophorèse submergé d'une solution de TAE à 1 X. Une quantité d'environ 10 µL de chaque amplicon a été mise dans les puits du peigne en laissant le premier au marqueur de taille (100 pb). La cuivre d'électrophorèse a été mis sous tension pendant environ 15 minutes à 125 volts. La migration s'est faite de la cathode (-) vers l'anode (+). Une fois la migration terminée, les bandes amplifiées ont été visualisées.

### 3.7.6.2.4. Visualisation des bandes amplifiées

La visualisation des bandes a été faite à l'aide d'un transilluminateur. Le gel contenant les bandes a été mis sous le transilluminateur. Les bandes rendues fluorescentes par le gel Red

ont été photographiées sous la lumière Ultraviolette du transilluminateur et téléchargées à l'aide de la caméra du système UVP relié à l'ordinateur.

### **3.7.7. Tests d'antibiogrammes (méthode de diffusion)**

L'antibiogramme a été réalisé en déposant les disques d'antibiotiques à tester sur la gélose Mueller Hinton préalablement inoculée avec une culture pure du germe étudié (Christelle, 2024).

#### **3.7.7.1.1. Préparation de la gélose et de l'inoculum**

La gélose Mueller Hinton a été préparée conformément aux instructions du fabricant et coulée dans des boîtes de Petri en respectant une épaisseur de 4 mm.

L'inoculum a été préparé à partir d'une jeune colonie pure repiquée sur milieu GN. Une à trois colonies identiques ont été prélevées avec une pipette Pasteur et déposées dans 5 mL d'eau physiologique (NaCl) stérile à 0,9 % (P/V). La suspension bactérienne a été soigneusement homogénéisée, puis une dilution de  $10^{-1}$  a été effectuée. Ce mélange est employé pour la culture.

#### **3.7.7.1.2. Ensemencement**

L'ensemencement a été réalisé dans les 15 minutes suivant la préparation de l'inoculum. Pour ce faire, toute la surface de la gélose MH a été couverte avec 3 à 5 mL de la suspension bactérienne. À l'aide d'une pipette Pasteur, une rotation complète a été effectuée pour assurer une distribution homogène de la solution. Le surplus a ensuite été aspiré à l'aide d'une pipette Pasteur équipée d'une poire. Les boîtes de Petri ont été mises à l'étuve à 37 °C pendant 15 minutes pour les sécher.

#### **3.7.7.1.3. Pose des disques, pré diffusion des antibiotiques et incubation**

Une fois séchés, les disques ont été placés sur la gélose en les espaçant de 30 mm à l'aide d'une pince stérilisée par flammes. Les boîtes ont par la suite été exposées à température ambiante pendant 30 minutes afin de favoriser la répartition de l'antibiotique dans la gélose. Elles ont été placées l'étuve à 37 °C pendant une durée de 18 à 24 heures.

#### **3.7.7.1.4. Lecture et interprétation**

Les diamètres d'inhibition autour des disques ont été mesurés avec une règle et comparé aux diamètres critiques regroupés dans les abaques de lecture selon les normes CA-SFM 2024 (Comité de l'Antibiogramme de la Société française de Microbiologie). Après consultation des abaques de lecture, une souche peut être déclarée « sensible, intermédiaire ou résistante ».

---

### **3.8. Analyses chimiques**

Deux grands groupes chimiques ont fait l'objet de cette étude. Il s'agit des résidus de pesticides et des éléments traces métalliques. Le choix de ces contaminants s'est fait grâce à l'enquête réalisée. La méthode analytique utilisée pour le dosage des résidus de pesticides était la chromatographie multi-résiduelle, qui a permis l'analyse simultanée de plusieurs résidus de pesticides (Jia *et al.*, 2008). Cette méthode comportait deux parties. La première a consisté à extraire et à purifier les contaminants. La seconde partie a consisté à l'analyse chromatographique pour l'identification et la quantification des résidus présents (Mawussi, 2008). Les ETM quant à eux, ont été recherchés par la technique de spectrométrie.

#### **3.8.1. Dosage des résidus de pesticides**

##### **3.8.1.1. Dosage des résidus de pesticides dans l'eau d'étangs**

###### **3.8.1.1.1. Prétraitement des échantillons**

Les échantillons collectés ont été conservés dans l'obscurité à -18 °C et analysés avant 2 mois pour éviter la dégradation et l'absorption sur les bouteilles d'échantillonnage. Les échantillons ont par la suite été filtrés sur un filtre à usage spécial de diamètre 0,01 µm.

###### **3.8.1.1.2. Extraction et Purification**

L'extraction et la purification des pesticides dans les échantillons d'eau ont été faites simultanément sur cartouche C18. La cartouche a été activée avec 10 mL de méthanol et 10 mL d'eau distillée. Une quantité de 10 mL de l'échantillon d'eau a été par la suite mise goutte à goutte dans la cartouche. La cartouche a été laissée sécher pendant 30 minutes. Un tube a été ensuite placé en dessous de la cartouche. Les résidus de pesticides retenus dans la cartouche C18 ont été décrochés goutte à goutte dans le tube en ajoutant 10 mL d'hexane. Le volume obtenu a été mesuré et transvaser dans un vial pour la quantification des résidus de pesticides au HPLC.

##### **3.8.1.2. Dosage des résidus de pesticides dans les sédiments**

###### **3.8.1.2.1. Extraction**

L'extraction des résidus de pesticides dans les sédiments s'est faite en séchant les sédiments à température ambiante sur du papier aluminium. Une fois séchés, les sédiments ont été broyés dans un mortier et tamisés à l'aide d'un tamis (maille de 2 mm). Une quantité de 25 g de l'échantillon a été pesée et transvasée dans un ballon en y ajoutant 50 mL de dichlorométhane. Le mélange a été homogénéisé sur une secousse pendant 1 heure. Le tout a

été filtré sur un papier Wattman dans un ballon à fond rond et évaporé à sec à l'aide d'un rotavapor. Un volume de 10 mL de méthanol a été ajouté dans le ballon préalablement évaporé à sec et le tout a été transvasé dans un tube.

#### **3.8.1.2.2. Purification**

La purification des extraits a été faite sur cartouche C18. La cartouche a d'abord été activée avec 10 mL de méthanol. Après activation, 10 mL d'acétonitrile y ont été ajoutés pour ne pas assécher la cartouche. Un volume de 10 mL de l'extrait a été par la suite mis dans la cartouche. La cartouche a été laissée sécher pendant 30 minutes. Un tube a été ensuite placé en dessous de la cartouche. Les résidus de pesticides retenus dans la cartouche C18 sont décrochés goutte à goutte dans le tube en y ajoutant 10 mL d'hexane. Le volume obtenu a été mesuré et transvasé ensuite dans un vial pour la quantification des résidus de pesticides au HPLC.

#### **3.8.1.3. Dosage des résidus de pesticides dans le tilapia**

##### **3.8.1.3.1. Extraction**

L'extraction a été faite en découpant le poisson en petit morceau (viscère, branchie et chair). L'ensemble a été bien mélangé. Une quantité de 25 g de ce mélange a été prélevée et broyée dans un mortier en ajoutant du sulfate de sodium l'anhydre. Le tout a été transvasé dans un ballon en y ajoutant 50 mL de dichlorométhane et homogénéiser sur une secousse pendant 1 heure. La solution obtenue a été filtrée sur un papier wattman dans un ballon à fond rond. Le solvant a été évaporé à sec à l'aide d'un rotavapor. Le contenu a été récupéré en ajoutant 10 mL de méthanol dans le ballon préalablement évaporé à sec et le tout a été transvasé dans un tube.

##### **3.8.1.3.2. Purification**

La purification des extraits a été faite sur cartouche C18. La cartouche a d'abord été activée avec 10 mL de méthanol. Après activation, 10 mL d'acétonitrile et 10 mL de l'extrait y ont été ajoutés. La cartouche a été laissée sécher pendant 30 minutes. Un tube a été ensuite placé en dessous de la cartouche. Les pesticides retenus dans la cartouche C18 ont été décrochés goutte à goutte dans le tube en ajoutant 10 mL d'hexane. Le volume obtenu a été mesuré et transvasé dans un vial pour la quantification des pesticides au HPLC.

### 3.8.1.4. Analyse Instrumentale

Les analyses chromatographiques ont été réalisées par une chromatographie en phase liquide à haute performance (SHIMADZU) composée d'un réservoir TRAY, d'un dégazeur DGU-20A5, d'un échantillonneur automatique SIL-20A, d'une pompe LC-20AT, d'un four de type CTO-20A (Annexe 9). La phase stationnaire est une colonne de type Shim pack VP-ODS (250 L x 4,6 mm). Un détecteur UV/VIS SPD-20A a été utilisé pour la quantification des pesticides. L'analyse a duré environ 56 minutes à une température de 40 °C, une longueur d'onde de 205 nm et un débit de 0,5 mL/min. Le volume d'injection est de 10 µL. L'acquisition des données a été faite à l'aide d'un ordinateur muni du logiciel LC. les conditions analytiques au HPLC sont résumées dans le tableau XIV et les résidus de pesticides sont présentés par le tableau XV.

Tableau XIV : Conditions analytiques au HPLC

| Temps (min) | Pompe B (%)      | Pompe A (%) | Débit (ml /min) | Volume injection µL |
|-------------|------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| 0,01        | 75               | 25          | 0,5             | 100                 |
| 40          | 40               | 60          | 0,5             | 100                 |
| 47          | 0                | 100         | 0,5             | 100                 |
| 55          | 0                | 100         | 0,5             | 100                 |
| 56          | Fin des analyses |             |                 |                     |

Pompe A : Acétonitrile de qualité HPLC ; Pompe B : Eau bi distillée de qualité HPLC

Tableau XV : Résidus de pesticides recherchés

| Familles                 | Molécules             | LQ (µg/kg) | LD (µg/kg) |
|--------------------------|-----------------------|------------|------------|
| <b>Triazine</b>          | Désisopropylatratzine |            |            |
|                          | Désethylatrazine      |            |            |
|                          | Simazine              |            |            |
|                          | Cyanazine             |            |            |
|                          | Atrazine              | 0,018      | 0,006      |
|                          | Propazine             |            |            |
|                          | Terbuthylazine        |            |            |
|                          | Prometryn             |            |            |
|                          | Terbutryn             |            |            |
| <b>Triazinone</b>        | Métamitron            |            |            |
|                          | Hexazinone            | 0,025      | 0,0083     |
|                          | Metribuzin            |            |            |
| <b>Dérivés de l'urée</b> | Fénuron               |            |            |
|                          | Métoxuron             |            |            |
|                          | Monuron               |            |            |
|                          | Méthabenzthiazuron    |            |            |
|                          | Chlortoluron          |            |            |
|                          | Monolinuron           | 0,018      | 0,006      |
|                          | Isoproturon           |            |            |
|                          | Diuron                |            |            |
|                          | Métobromuron          |            |            |
|                          | Buturon               |            |            |
|                          | Linuron               |            |            |
| <b>Chloroacetamide</b>   | Métazachlor           | 0,010      | 0,0033     |
|                          | Métolachlor           |            |            |
| <b>Carbamate</b>         | Aldicarb              | 0,009      | 0,003      |
|                          | Chlorpropham          |            |            |
| <b>Organophosphore</b>   | Parathion-méthyl      |            |            |
|                          | Chlorfenvinphos       | 0,009      | 0,003      |
|                          | Parathion-éthyl       |            |            |
| <b>Dicarboximides</b>    | Vinclozolin           | 0,009      | 0,003      |

LQ : Limite de Quantification ; LD : Limite de Détection

### 3.8.2. Détermination des Eléments Traces Métalliques

#### 3.8.2.1. Minéralisation des échantillons

La minéralisation a été faite en prélevant environ 5 g de l'échantillon solide (poisson ou sédiment) et séchés à l'étuve à  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant au moins 48 heures. Suite à leur séchage, ils ont été pesés et placés dans un mortier sec, à la surface lisse, préalablement nettoyé avec du savon Extran 300, rincé à l'aide d'une solution d'acide nitrique dilué et d'eau ultra-pure, puis séchés. Ils ont ensuite été broyés jusqu'à obtenir une consistance uniforme. Une quantité de 300 mg de cette poudre a été prélevée et déposée dans un contenant de téflon muni d'un couvercle. Ensuite, 5 mL de  $\text{HNO}_3$  concentré ont été incorporés et laissés sous la hotte pendant environ 30 minutes sans que le couvercle ne soit complètement fermé. Les récipients en téflon ont été immergés sans leurs couvercles dans du sable et chauffés (à environ  $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à ce que leur volume se situe approximativement entre 0,5 et 1,0 mL. 2 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % a été par la suite ajouté et évaporé (environ 30 minutes) de moitié sans porter à sec. 2 mL de  $\text{HNO}_3$  concentré et 1 mL de  $\text{HCl}$  concentré y ont été ajoutés et le gaz a été laissé échapper pendant quelques minutes en agitant légèrement. Le récipient a été scellé de manière étanche et placé dans le bain de sable pendant une heure. Après approximativement une demi-heure, le couvercle a été soigneusement levé pour réduire la pression dans le récipient et permettre à l'air de s'échapper. Le téflon a été chauffé pendant une heure, puis plongé dans de l'eau froide pendant 10 à 15 minutes pour réduire la pression. Le contenu du telfon a été par la suite transféré dans un tube de polypropylène de 50 mL. Le telfon a été rincé avec de l'eau jusqu'à atteindre un volume exact de 30 mL dans le tube. Le tube a été refermé et agité fortement afin de rendre homogène (Traore, 2021).

#### 3.8.2.2. Dosage des Eléments Traces Métalliques

Le dosage des échantillons a été réalisé en utilisant un spectromètre à plasma à émission d'argon de la marque Perkin Elmer, modèle Optima 3000 DV. Les échantillons ont été dilués pour ne pas dépasser les seuils maximaux de l'appareil. Les métaux suivants ont été recherché : Cd, Pb, Hg, As.

### 4. Traitement des données et analyses statistiques

#### 4.1. Estimation de l'intensité de la contamination

L'intensité de la contamination du tilapia, des eaux d'étangs et les sédiments a été estimée à partir de la comparaison entre les teneurs des contaminants (chimiques et biologiques) et les valeurs de références des teneurs maximales limites préconisées par la Commission des

Communautés européennes N° 1831/2003 révisé en 2023 (U.E, 2023) et le Codex standard 193-1995 (FAO/OMS, 2023).

#### 4.2. Calcul du facteur de bioconcentration (FBC)

Le facteur de bioconcentration (FBC) a été utilisé pour décrire le transfert d'éléments traces métalliques et des résidus de pesticides du biotope (eau et sédiments) aux organismes. Il est issu du rapport entre la concentration d'un élément trace métallique dans un organisme en état d'équilibre et sa concentration dans le biotope (Traoré *et al.*, 2015) comme l'indique l'équation 2 :

$$FBC = \frac{\text{Concentration de l'ETM dans l'organisme}}{\text{Concentration de l'ETM dans l'eau ou les sédiments}} \quad (2)$$

**FBC < 1 :** signifie qu'il n'y a pas de bioconcentration de l'élément chimiques (ETM et résidus de pesticides dans le tilapia. Le poisson élimine le polluant plus rapidement qu'il ne l'absorbe.

**FBC > 1 :** signifie qu'il y a une bioconcentration de l'élément chimique dans le poisson. Le polluant est donc absorbé par le poisson à un rythme plus élevé qu'il n'est éliminé.

#### 4.3. Analyses statistiques

Pour la collecte et l'exploitation des données, différents logiciels ont été utilisés. Le logiciel Sphinx lexic a été utilisé pour l'élaboration des fiches d'enquête et leur traitement. Les analyses statistiques ont été effectuées au moyen du tableur Excel et du logiciel R version 4.4.1. Le logiciel R a été utilisé pour les statistiques descriptives (calcul des moyennes et Ecart-types), le test de comparaison t (comparaison des teneurs moyennes aux normes préconisées) et les tests de corrélations. Ces différents tests ont été réalisés au seuil de 5 %. Pour les tests de comparaisons, une différence significative a été marquée pour  $p < 0,05$ . Quant à la corrélation, elle a été exprimée par le coefficient de corrélation  $r$ , qui varie entre -1 et 1. Une forte corrélation est indiquée par des valeurs de  $r$  comprises entre 0,7 et 1,0 (ou entre -1,0 et -0,7), tandis qu'une corrélation modérée se situe entre 0,3 et 0,7 (ou entre -0,3 et -0,7). Une faible corrélation est définie par des valeurs de  $r$  comprises entre 0,1 et 0,3 (ou entre -0,1 et -0,3). Enfin, une absence de corrélation est observée lorsque  $r$  se trouve dans l'intervalle de -0,1 à 0,1. Le tableur Excel a été utilisé pour la réalisation de certains graphes.

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION**

## I : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES ETANGS PISCICOLES DE LA REGION DU HAUT-SASSANDRA ET LE PROFIL DE LEURS PRODUCTEURS

### 1. RESULTATS

#### 1.1. Groupements et géolocalisation des pisciculteurs dans le Haut-Sassandra

Les résultats d'enquête montrent que la pisciculture est une activité pratiquée de façon organisée dans le Haut-Sassandra. Les pisciculteurs sont regroupés en sociétés coopératives. Au total, six (06) coopératives ont été recensées dans la région. Cependant, aucune activité piscicole n'a été observée dans le département de Vavoua. Les groupements des pisciculteurs ainsi que leurs coordonnées géographiques sont résumés dans le Tableau XVI.

Tableau XVI: Sociétés coopératives piscicoles de la région du Haut-Sassandra

| Sociétés coopératives                                     | Département | Coordonnées GPS       |
|-----------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|
| SCOOP Aquaculture et développement Daloa (AQUA-DEV-DALOA) | Daloa       | X: 653952 ; Y: 626140 |
| Union des pisciculteurs de Zoukougbeu (UPZ-SCOOP)         | Zoukougbeu  | X: 707134 ; Y: 617548 |
| Union des pisciculteurs de Gadouan (UPG-SCOOP)            | Daloa       | X: 653950 ; Y: 626141 |
| DEHIZEA de Bediala SCOOP                                  | Daloa       | X: 707134 ; Y: 617548 |
| Société Coopérative de Pisciculteurs de Luenoufla         | Daloa       | X: 708190 ; Y: 625560 |
| WAZI pisciculture Issia                                   | Issia       | X: 708134 ; Y: 616160 |

#### 1.2. Profil sociodémographique des pisciculteurs dans le Haut-Sassandra

La pisciculture est une activité en plein essor dans la région du Haut-Sassandra. Cependant, elle est pratiquée comme une activité connexe dans ladite région. Sur 150 pisciculteurs enquêtés, seuls deux (02) pratiquent la pisciculture comme activité principale. La tranche d'âge dominante est 35-50 ans, suivie par les personnes âgées (plus de 50 ans). Ces producteurs ont en général le niveau scolaire primaire. Les femmes sont moins représentées dans cette activité. Elles représentent 2,66 % des producteurs. Le profil sociodémographique des producteurs est résumé dans le Tableau XVII.

Tableau XVII : Profil sociodémographique des pisciculteurs du Haut-Sassandra

| Paramètres             |                      | Nombre | Proportion (%) |
|------------------------|----------------------|--------|----------------|
| Sexe                   | Homme                | 146    | 97,34          |
|                        | Femme                | 4      | 2,66           |
| Tranche d'âge (années) | ≤ de 18              | 0      | 0              |
|                        | 18-35                | 9      | 6              |
|                        | 35-50                | 81     | 54             |
|                        | ≥ 50 ans             | 60     | 40             |
| Niveau d'étude         | Non scolarisé        | 48     | 32             |
|                        | Primaire             | 63     | 42             |
|                        | Secondaire           | 25     | 16,66          |
|                        | Universitaire        | 14     | 9,33           |
| Activité principale    | Pisciculture         | 2      | 1,33           |
|                        | Agriculture/Planteur | 117    | 78             |
|                        | Fonctionnaire        | 4      | 2,66           |
|                        | Commerçant(e)        | 14     | 9,33           |
|                        | Ménagère             | 4      | 2,66           |
|                        | Salarié              | 9      | 6              |

### 1.3. Pratique de la pisciculture dans le Haut-Sassandra

#### 1.3.1. Systèmes de production piscicoles

Deux systèmes de production piscicole ont été observés dans le Haut-Sassandra. Il s'agit du système extensif observé sur 80 % des fermes enquêtées et du système semi-intensif sur les 20 % restantes (figure 16).

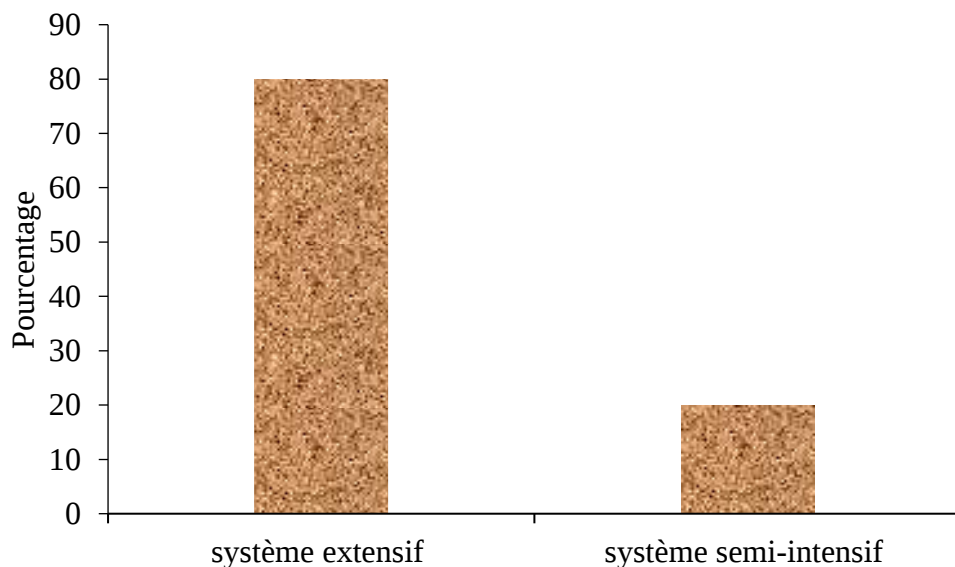


Figure 16 : Systèmes de production piscicole dans le Haut-Sassandra

### 1.3.2. Types d'étangs piscicoles et leur répartition dans le Haut-Sassandra

Deux types d'étangs sont observés dans le Haut-Sassandra. Les étangs barrages et les étangs en dérivation. Sur 150 fermes piscicoles visitées, 105 renfermaient les étangs en dérivation et 45 les étangs barrages. Ces deux types d'étangs sont souvent observés sur une même ferme. Cependant, les étangs barrages sont plus observés en zone rurale (80 %) qu'en zone péri-urbaine et urbaine (20 %). Par contre, les étangs en dérivation sont plus observés en zone péri-urbaine et urbaine (59 %) qu'en zone rurale (41 %) (figure 17).

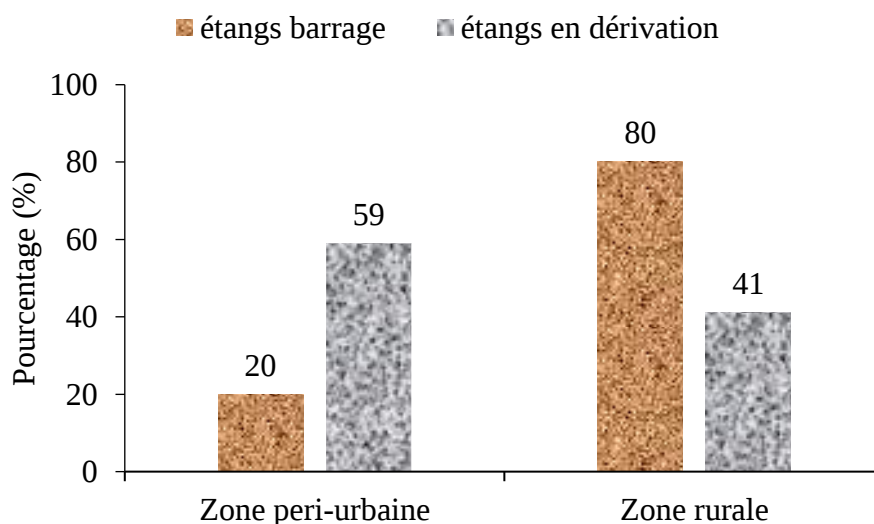


Figure 17: Répartition des étangs dans la région du Haut-Sassandra

### 1.3.3. Activités associées à la pisciculture

Les étangs piscicoles coexistent avec plusieurs activités. La pisciculture est par moments associée à la riziculture lui donnant ainsi le nom de rizipisciculture. Cette activité est rencontrée dans les étangs barrages. Les rares étangs barrages en association avec la riziculture étaient uniquement rencontrés en zones rurales (Bediala, Luenoufla). La riziculture est pratiquée uniquement sur 13 % des étangs barrages visités et enquêtés (Figure 18).



Figure 18 : Activités associées à la pisciculture

### 1.3.4. Activités environnantes des fermes piscicoles

Diverses activités étaient pratiquées aux alentours des étangs piscicoles (Tableau XVIII). Il s'agit des cultures de rente et quelque rare fois des cultures maraîchères. De toutes ces activités, les anacardiens ont été les plus proches des étangs barrages suivis de l'hévéaculture. La cacao-culture occupait la dernière place avec un taux de 11 %. Dans les étangs en dérivation, l'hévéaculture et les cultures maraîchères ont été les plus observées. Aussi, des habitats prêts des exploitations piscicoles ont été observés en zone péri-urbaine.

Tableau XVIII: Proportion des activités pratiquées aux alentours des étangs piscicoles

| Activités<br>environnantes | Proportion dans les<br>étangs barrages (%) | Proportion dans les<br>étangs en dérivation (%) |
|----------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Anacardier                 | 33                                         | 10                                              |
| Riziculture                | 30                                         | 25                                              |
| Hévéaculture               | 26                                         | 22                                              |
| Cacao-culture              | 11                                         | 8                                               |
| Habitats                   | 0                                          | 25                                              |
| Maraichère                 | 0                                          | 18                                              |

### 1.3.5. Espèces de poisson élevées dans les étangs piscicoles du Haut-Sassandra

Trois espèces de poisson ont été rencontrées sur les fermes piscicoles. Il s'agit, de *Oreochromis niloticus* (tilapia) appelée par abus carpe, *Heterotis niloticus* (Cameroun) et *Clarias gariepinus* (Silure). Le poisson tilapia occupe la première place avec une proportion de 100 %, suivi par le silure. Le cameroun est l'espèce la moins élevée dans les étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra (Tableau XIX).

Tableau XIX : Proportion des espèces de poisson élevées en fonction des types étangs

| Nom scientifique             | Nom vernaculaire | Proportion dans les<br>étangs barrages | Proportion dans les<br>étangs en dérivation |
|------------------------------|------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| <i>Oreochromis niloticus</i> | Tilapia          | 100 %                                  | 100 %                                       |
| <i>Heterotis niloticus</i>   | Cameroun         | 5 %                                    | 25 %                                        |
| <i>Clarias gariepinus</i>    | Silure           | 57 %                                   | 29 %                                        |

### 1.3.6. Pratiques alimentaires et sanitaires

Les pratiques alimentaires et hygiéniques sont fonction de la zone de production. En zone urbaine, les poissons étaient principalement nourris avec des aliments industriels (granulés). Cependant, les sous-produits agricoles sont utilisés comme aliment d'appoint et les conditions d'hygiène étaient la priorité des pisciculteurs. Par contre, en zone rurale, les poissons sont nourris principalement avec les sous-produits agricoles notamment le son de riz, le son de maïs, la peau de manioc et les tiges de riz. Les conditions d'hygiène dans ces fermes sont

moins marquées. Les aliments industriels de poisson et les autres produits vétérinaires étaient méconnus dans ce type d'élevage (Tableau XX).

Tableau XX: Différents aliments utilisés en pisciculture dans la région du Haut- Sassandra.

| Types d'aliments         | Nombre de pisciculteurs | Proportion |
|--------------------------|-------------------------|------------|
| Granulé uniquement       | 0                       | 0 %        |
| Sous-produits uniquement | 117                     | 78 %       |
| Granulés + sous-produits | 33                      | 22 %       |

#### 1.4. Difficultés du pisciculteur

Les difficultés rencontrées par les pisciculteurs recensés étaient principalement le manque d'aliment, d'alevins, les variations saisonnières non maîtrisées et surtout la commercialisation des poissons.

## 2. DISCUSSION

La présente étude avait pour but de connaître les principales caractéristiques des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra ainsi que le profil des producteurs. La pisciculture est une activité en plein essor dans ladite région. Elle est pratiquée dans les départements de Daloa, d'Issia et de Zoukougbeu. Cette activité doit son existence à un environnement très favorable. Selon Koukougnon (2020), la région du Haut-Sassandra présente des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables à l'aquaculture. De plus, les pisciculteurs sont regroupés en sociétés coopératives. six (06) sociétés coopératives ont été identifiées. Ces organisations coopératives permettraient une nette visibilité sur l'activité piscicole aussi bien par les pisciculteurs que des partenaires techniques. D'après les travaux de Kouadio *et al.* (2011) sur les groupements coopératifs, ceux-ci offrent toujours un cadre plus propice à la gestion des difficultés des filières de productions.

L'enquête a aussi révélé que la pisciculture dans la région du Haut-Sassandra est pratiquée comme une activité additive aux autres activités de production. Elle est majoritairement dominée par les personnes dont l'âge est compris entre 35 et 50 ans. La pratique non-exclusive de la pisciculture et l'absence des jeunes dans l'activité pourraient s'expliquer par une disposition de fonds financiers et un accompagnement technique pour la mise en place d'étangs piscicoles. En outre, il y a les difficultés de propriété et d'accès aux espaces dédiés. Ces observations sont proches des travaux de Assi-kaudjhis (2011) et d'Aboya *et al.* (2020) sur la filière piscicole. Selon ces auteurs, la profession piscicole reste plus ouverte à des personnes qui disposent du foncier, d'une certaine autonomie financière et d'une main-d'œuvre technique. La pisciculture dans la région du Haut-Sassandra est en constante émergence, cependant elle demeure une activité connexe. En effet, l'enquête a montré que les pisciculteurs sont à 78 % des planteurs et agriculteurs. Cette dominance par les planteurs et agriculteurs pourrait s'expliquer par la possession des terres et un état financier confortable. Des résultats similaires ont été observés au Cameroun par Tiogué *et al.* (2020). Par contre au Benin, Kpenavoun *et al.* (2017) affirment que la pisciculture est une activité principale pour 32,5 % des pisciculteurs béninois.

L'activité piscicole est dominée par les hommes avec un niveau moyen d'instruction. Il faut noter en plus des moyens financiers, la création des étangs demanderait beaucoup d'effort

physique ; des choses qui handicaperaient les femmes en général. Les présents résultats corroborent ceux de Menga *et al.* (2023) sur la pisciculture au Congo. Dans la ville de Brazzaville, cette activité est pratiquée à 95 % par des hommes âgés de 50 ans et plus. Les femmes étaient faiblement représentées dans cette activité (5 %) comme c'est le cas dans la présente étude où seulement 2,67 % des producteurs sont des femmes. D'autres travaux antérieurs ont montré la faible représentativité des femmes dans la pisciculture. Il s'agit des travaux de Anoumou *et al.* (2016) et de Kimou *et al.* (2016) qui ont observé respectivement 2,89 % et 2,6 % de femme pratiquait la pisciculture.

Par ailleurs, ces mêmes auteurs ont indiqué que la majorité de ces pisciculteurs avait au moins le niveau scolaire primaire. Les présents résultats sont proches de leurs travaux. Cependant, les travaux de Aboya *et al.* (2020) ont montré que la majorité des pisciculteurs dans la ville d'Abidjan, ont un niveau d'étude supérieure. Au Congo, Linangola (2019) indiquait que la majorité des pisciculteurs ont un niveau secondaire (55 %).

Dans le Haut-Sassandra, deux systèmes de productions ont été observés. Il s'agit du système extensif utilisé sur 80 % des fermes (majoritairement en zone rurale) et du système semi-intensif (majoritairement en zone urbaine et péri-urbaine). La dominance du système extensif s'expliquerait par le manque d'aliments industriel, d'alevin et surtout les problèmes financiers qui conduisent à l'usage des sous-produits agricoles pour l'alimentation des poissons. Dans le Gontougo, à l'est de la Côte d'Ivoire, N'Dri *et al.* (2016) ont montré la dominance de ce système dans la pisciculture. Des résultats similaires ont été observés à Oued Righ une région Algérienne par Bouhania & Hammia, (2020). Cependant, le sud de la Côte d'Ivoire est dominé par un système intensif (Toily, 2009). Les différents systèmes sont utilisés dans deux types d'étangs, dont les étangs barrages plus présent en zone rurale et les étangs en dérivations en zone urbaine et péri-urbaine. Selon Kimou *et al.* (2016), ces deux structures sont les plus rencontrées en Côte d'Ivoire. Un système piscicole intégré à l'agriculture a été observé, et ce, uniquement dans les étangs barrages prenant le nom de rizipisciculture. Ce système est selon les pisciculteurs moins coûteux, car les tiges des plants de riz servent à l'alimentation des poissons, réduisent les chocs thermiques causés par le soleil. Des résultats similaires ont été observés par Kouadio & Assi-kaudjhis (2018), qui montrent la présence de ce système dans le Haut-Sassandra. Les activités telles que la culture d'anacarde, la riziculture, l'hévéaculture, la cacaoculture ont été observées aux alentours de ces fermes peu importe la structure. Dans le département de la Menoua au Cameroun, les cultures

environnantes sont par ordre d'importance le haricot, le bananier-plantain, le macabo/taro, l'arachide, le soja, l'igname, la pomme de terre et enfin le manioc (Kenfack *et al.*, 2019).

Les ressources aquacoles sont les poissons tilapia (*Oreochromis niloticus*), silure (*Clarias gariepinus*) et cameroun (*Heterotis niloticus*). De ces trois espèces, le tilapia constitue la principale ressource aquacole. Cette dominance est due à sa capacité d'adaptation aux conditions environnementales, sa reproduction plus facile et surtout sa qualité nutritionnelle et organoleptique. *Clarias gariepinus* quant à lui, doit son existence à la nature, car sa culture ne se fait pas toujours au gré du pisciculteur. Mais sa présence dans l'étang est parfois bénéfique pour les pisciculteurs. Il est utilisé pour le contrôle de l'activité en réduisant les alevins non souhaités. Ces résultats sont en accord à ceux de Amoussou *et al.* (2016) qui ont enregistré des taux de 100 % pour le tilapia, 33,33 % pour le silure, 9,09 % pour le cameroun et 5,56 % pour le machoiron. Dans le bandal au Sénégal, ce sont plutôt 16 espèces qui sont élevées (Yao *et al.*, 2017) montrant ainsi une diversité des espèces et la connaissance plus poussée de la pisciculture. Les différents aliments piscicoles rencontrés sur les fermes sont les sous-produits agricoles et les granulés. Les sous-produits agricoles représentent une source d'alimentation des poissons pour la majorité des pisciculteurs enquêtés soit 78 % dans cette zone. En effet, cela représente pour eux moins de dépenses surtout que cette région dispose de plusieurs cultures environnantes. Il en est de même au Congo où Linangola (2019) a enregistré un taux de 43 % de pisciculteurs utilisant les sous-produits agricoles.

### 3. CONCLUSION PARTIELLE

La présente étude a permis de connaître le profil des producteurs et d'identifier les principales caractéristiques des fermes piscicoles de la région du Haut-Sassandra dans un contexte de développement et de relance de la pisciculture en Côte d'Ivoire. La pisciculture est une activité importante dans la région du Haut-Sassandra. Le poisson *Oreochromis niloticus* (tilapia) est l'espèce la plus produite. La pisciculture se pratique dans un environnement qui lui est favorable et dans deux types d'étangs : les étangs barrages et les étangs en dérivation. Deux systèmes de productions sont également rencontrés, dont le système extensif et semi intensif. Les fermes sont dans des zones urbaines et rurales. Les détenteurs de fermes piscicoles de la région du Haut-Sassandra sont des hommes avec un faible niveau scolaire. Les producteurs ont en général une activité financière connexe. Plusieurs activités agricoles sont contiguës aux fermes piscicoles. Des étangs piscicoles sont même associés à d'autres cultures et les poissons sont souvent nourris avec des sous-produits agricoles.

---

Une attention particulière devra être accordée à la pisciculture dans la région du Haut-Sassandra, comme c'est le cas pour d'autres secteurs de production en Côte d'Ivoire. Les pratiques non maîtrisées et les difficultés dans la production pourraient compromettre la durabilité et la qualité des produits de la pisciculture.

## II : CONTAMINANTS MICROBIENS DES POISSONS, DES EAUX ET DES SEDIMENTS DES ETANGS PISCICOLES DE LA REGION DU HAUT-SASSANDRA

### 1. RESULTATS

#### 1.1. Contaminants microbiens du tilapia des étangs piscicoles

L'analyse microbiologique du tilapia des étangs piscicoles a révélé la présence des différentes bactéries recherchées que sont *E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus* sp. et *Salmonella* sp. Cette présence est marquée dans les deux types d'étangs et les deux parties analysées (viscères et branchies). La charge moyenne des viscères en *E. coli* a été plus importante que celle des branchies des poissons issus des étangs en dérivation avec des charges respectives de  $42,37 \pm 4,4$  UFC/g et  $21,25 \pm 10,7$  UFC/g. La tendance contraire est observée au niveau des poissons issus des étangs barrages.

*Salmonella* a été présent dans les deux types d'étangs avec une présence plus marquée dans les étangs en dérivation. Les branchies des poissons issus des étangs en dérivation sont plus contaminées par *Salmonella* que les viscères des poissons issus des mêmes types d'étangs.

Au niveau de *Enterococcus*, les branchies ont été plus contaminées que les viscères en *Enterococcus* et cela dans les deux types d'étangs. En effet, des charges bactériennes moyennes de *Enterococcus* de  $86,5 \pm 46,3$  UFC/g et  $48,75 \pm 0,6$  UFC/g ont été observées respectivement dans les branchies des étangs en dérivation, et celles, des étangs barrages. Quant aux viscères des charges plus faibles de *Enterococcus* de  $6,25 \pm 0,44$  UFC/g et  $17,5 \pm 1,18$  UFC/g ont été observées.

*S. aureus* a été présent avec des charges moyennes de  $11,56 \pm 9,72$  UFC/g,  $10,56 \pm 2,58$  UFC/g et  $5,41 \pm 1,94$  UFC/g,  $12,5 \pm 1,94$  UFC/g respectivement dans les branchies et viscères des étangs en dérivation et celles des étangs barrages.

Les poissons issus des étangs barrages sont autant contaminés que ceux issus des étangs en dérivation. Des deux parties analysées, les branchies des poissons étaient plus contaminées que les viscères. Quel que soit le type d'étangs, les charges bactériennes moyennes des viscères et branchies des poissons étaient statistiquement inférieures aux critères microbiologiques excepté *Salmonella*. Les contaminants microbiens pathogènes des poissons des différents types d'étangs piscicoles sont résumés dans le Tableau XXI.

Tableau XXI : Charges moyennes des potentiels pathogènes des viscères et branchies des tilapia en fonction des types d'étangs

| Types<br>d'étangs                                   | <i>Escherichia coli</i> |                          | <i>Staphylococcus aureus</i> |                          | <i>Enterococcus</i>    |                          | <i>Salmonella</i> |     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-----|
|                                                     | UFC/g                   |                          |                              |                          |                        |                          |                   |     |
|                                                     | Vis                     | Bra                      | Vis                          | Bra                      | Vis                    | Bra                      | Vis               | Bra |
| PED1                                                | 100 ± 7,0               | 50 ± 28,28               | 22,5 ± 3,18                  | 7,5 ± 21,21              | 40 ± 0                 | 440 ± 190,9              | +                 | +   |
| PED2                                                | 0 ± 0                   | 0 ± 0                    | 7,5 ± 7,07                   | 20 ± 7,07                | 0 ± 0                  | 100 ± 14,14              | -                 | -   |
| PED3                                                | 10 ± 3                  | 47,5 ± 38,88             | 17,5 ± 0                     | 17,5 ± 24,74             | 7,5 ± 0                | 157,5 ± 137              | -                 | +   |
| PED4                                                | 0 ± 0                   | 2,5 ± 3,53               | 10 ± 7,07                    | 0 ± 0                    | 0 ± 0                  | 2,5 ± 3,53               | -                 | -   |
| PED5                                                | 89 ± 7                  | 20 ± 4,3                 | 0 ± 0                        | 10 ± 14,14               | 2,5 ± 3,53             | 30 ± 21,21               | +                 | +   |
| PED6                                                | 40 ± 8                  | 30 ± 3,2                 | 27,5 ± 3,88                  | 37,5 ± 10,60             | 4 ± 0                  | 2,5 ± 3,35               | -                 | -   |
| PED7                                                | 0 ± 0                   | 0 ± 0                    | 0 ± 0                        | 0 ± 0                    | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | -                 | -   |
| PED8                                                | 100 ± 10,3              | 20 ± 7,3                 | 0 ± 0                        | 0 ± 0                    | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | -                 | +   |
| Moyenne                                             | 42,4 ± 4,4 <sup>b</sup> | 21,3 ± 10,7 <sup>c</sup> | 10,6 ± 2,58 <sup>c</sup>     | 11,6 ± 9,72 <sup>b</sup> | 6,3 ± 0,4 <sup>b</sup> | 86,5 ± 46,3 <sup>a</sup> |                   |     |
| PEB1                                                | 70 ± 0                  | 0 ± 0                    | 30 ± 14,14                   | 15±2,12                  | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | -                 | -   |
| PEB2                                                | 10 ± 0,5                | 10 ± 2,3                 | 60 ± 8,48                    | 25±3,53                  | 60 ± 3,5               | 200 ± 0                  | -                 | +   |
| PEB3                                                | 0 ± 0                   | 100 ± 4                  | 0 ± 0                        | 10±1,41                  | 10 ± 0                 | 50 ± 0                   | -                 | -   |
| PEB4                                                | 5 ± 1,4                 | 15 ± 1,23                | 5 ± 7,07                     | 5±7,07                   | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | -                 | -   |
| PEB5                                                | 0 ± 0                   | 0 ± 0                    | 0 ± 0                        | 10±1,41                  | 50 ± 2                 | 100 ± 3                  | -                 | -   |
| PEB6                                                | 10 ± 4,2                | 40 ± 5                   | 5 ± 7,07                     | 0±0                      | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | +                 | -   |
| PEB7                                                | 0 ± 0                   | 20 ± 7,07                | 0 ± 0                        | 0±0                      | 0 ± 0                  | 0 ± 0                    | -                 | -   |
| PEB8                                                | 5 ± 2                   | 50 ± 2,3                 | 0 ± 0                        | 0±0                      | 20 ± 4                 | 40 ± 2                   | -                 | -   |
| Moyenne                                             | 12,5 ± 1,0 <sup>c</sup> | 29,4 ± 2,4 <sup>b</sup>  | 12,5 ± 4,59 <sup>b</sup>     | 5,41 ± 1,94 <sup>c</sup> | 17,5±1,2 <sup>a</sup>  | 48,8 ± 0,6 <sup>b</sup>  |                   |     |
| Critères<br>microbiol<br>ogiques<br>(Eric,<br>2021) | 10 <sup>2a</sup> UFC/g  |                          | 10 <sup>2a</sup> UFC/g       |                          | Abs/25g                |                          | Abs/25g           |     |

+ : Présence ; - : Absence ; PED : Poisson issu des étangs en dérivation ; PEB : Poisson issu des étangs barrages ; Vis : Viscère ; Bra : Branchie. Les lettres identiques dans la même colonne montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les charges moyennes et la norme. Cependant, une différence significative est marquée pour les lettres différentes dans la même colonne.

## 1.2. Contaminants microbiens de l'eau des étangs piscicoles

L'analyse microbiologique a révélé la présence de *S. aureus*, *E. coli*, *Enterococcus* sp et *Salmonella* sp. dans les eaux des différents types étangs piscicoles. Les charges des pathogènes variaient de 0 à 40 UFC/mL en fonction du type d'étangs. *S. aureus*, *E. coli*, *Enterococcus* sp. et *Salmonella* sp. étaient dans tous les échantillons d'eaux des étangs barrages. Les charges microbiennes des étangs en dérivation étaient moins importantes que celles des étangs barrage. Cependant, les charges moyennes de ces bactéries étaient statistiquement inférieures aux critères microbiologiques hormis *Salmonella* sp. Les charges

des contaminants microbiens pathogènes des eaux des différents types étangs piscicoles et les critères microbiologiques sont résumés dans le Tableau XXII.

Tableau XXII : Charges moyennes de pathogènes des eaux d'étangs piscicoles

| Types d'étangs                                   | <i>S. aureus</i>                | <i>E. coli</i>                 | <i>Enterococcus sp</i>         | <i>Salmonella sp</i> |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| UFC/mL                                           |                                 |                                |                                |                      |
| EED1                                             | 0,00 ± 0,00                     | 0,67 ± 1,15                    | 0,33 ± 0,58                    | +                    |
| EED2                                             | 20,00 ± 2,64                    | 6,67 ± 1,15                    | 4,33 ± 4,04                    | -                    |
| EED3                                             | 33,33 ± 5,77                    | 0,00 ± 0,00                    | 0,33 ± 0,58                    | -                    |
| EED4                                             | 21,67 ± 2,56                    | 21,67 ± 3,75                   | 0,00 ± 0,00                    | -                    |
| EED5                                             | 40,00 ± 5,29                    | 16,67 ± 2,89                   | 0,33 ± 0,00                    | -                    |
| EED6                                             | 18,33 ± 2,75                    | 0,33 ± 0,58                    | 0,33 ± 0,00                    | -                    |
| EED7                                             | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                    | 0,33 ± 0,00                    | -                    |
| EED8                                             | 33,33 ± 5,77                    | 16,67 ± 2,89                   | 0,33 ± 0,58                    | -                    |
| <b>Moyenne</b>                                   | <b>20,83 ± 3,09<sup>c</sup></b> | <b>7,83 ± 1,55<sup>c</sup></b> | <b>0,79 ± 0,72<sup>a</sup></b> |                      |
| EEB1                                             | 1,67 ± 2,89                     | 0,00 ± 0,00                    | 0,33 ± 0,58                    | +                    |
| EEB2                                             | 10,00 ± 1,73                    | 0,33 ± 0,58                    | 0,00 ± 0,00                    | +                    |
| EEB3                                             | 35,00 ± 5,63                    | 0,00 ± 0,00                    | 0,00 ± 0,00                    | +                    |
| EEB4                                             | 33,33 ± 5,77                    | 16,67 ± 2,89                   | 0,33 ± 0,58                    | +                    |
| EEB5                                             | 35,00 ± 5,63                    | 8,33 ± 1,04                    | 0,33 ± 0,58                    | +                    |
| EEB6                                             | 25,00 ± 2,29                    | 0,33 ± 0,58                    | 0,00 ± 0,00                    | +                    |
| EEB7                                             | 35,00 ± 5,63                    | 6,67 ± 1,15                    | 0,00 ± 0,00                    | +                    |
| EEB8                                             | 18,33 ± 2,75                    | 17,00 ± 2,85                   | 0,33 ± 0,58                    | +                    |
| <b>Moyenne</b>                                   | <b>24,17 ± 4,04<sup>b</sup></b> | <b>6,17 ± 1,13<sup>b</sup></b> | <b>0,17 ± 0,29<sup>a</sup></b> |                      |
| <b>Critères microbiologiques</b><br>(Eric, 2021) | <b>10<sup>2a</sup> UFC/mL</b>   | <b>10<sup>2a</sup> UFC/mL</b>  | <b>Abs/25 mL</b>               | <b>Abs/25 mL</b>     |

+ : Présence ; - : Absence ; EED : Eau d'étangs en dérivation ; EEB : Eau d'étangs barrages.

Les lettres identiques dans la même colonne montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les charges moyennes et la norme. Cependant, une différence significative est marquée pour les lettres différentes dans la même colonne.

### 1.3. Contaminants microbiens des sédiments des étangs piscicoles

L'analyse microbiologique des sédiments des étangs piscicoles a révélé la présence des différentes bactéries recherchées. Notamment, *E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus sp.* et *Salmonella sp.* Ces bactéries sont aussi bien présentes dans les sédiments des étangs barrages que ceux des étangs en dérivation. *Salmonella sp.* est présente dans tous les échantillons de sédiment issus des étangs barrages. Quant aux sédiments des étangs en dérivation seul les

échantillons SED1 et SED2 renfermaient *Salmonella* sp. Les sédiments des étangs en dérivation renfermaient *E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus* sp. à des charges supérieures à ceux issus des étangs barrages. Cependant, quel que soit le type d'étang, les charges bactériennes des sédiments étaient statistiquement inférieures aux critères microbiologiques.

Les contaminants microbiens pathogènes des sédiments des différents types étangs piscicoles sont résumés dans le Tableau XXIII.

Tableau XXIII : Charges moyennes des potentiels pathogènes des sédiments en fonction des types d'étangs

| Types d'étangs                                 | <i>S. aureus</i>                | <i>E. coli</i>                  | <i>Enterococcus</i>             | <i>Salmonella</i> |
|------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| UFC/g                                          |                                 |                                 |                                 |                   |
| SED1                                           | 0,00 ± 0,00                     | 5,00 ± 4,58                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| SED2                                           | 118,33 ± 11,30                  | 78,67 ± 13,19                   | 3,00 ± 4,36                     | +                 |
| SED3                                           | 6,67 ± 5,77                     | 8,00 ± 13,00                    | 8,00 ± 7,55                     | -                 |
| SED4                                           | 0,00 ± 0,00                     | 105,00 ± 10,70                  | 9,33 ± 8,14                     | -                 |
| SED5                                           | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | 75,33 ± 6,57                    | -                 |
| SED6                                           | 16,67 ± 2,88                    | 0,00 ± 0,00                     | 13,33 ± 2,31                    | -                 |
| SED7                                           | 1,67 ± 2,89                     | 1,67 ± 2,89                     | 10,00 ± 1,00                    | -                 |
| SED8                                           | 20,00 ± 2,64                    | 0,00 ± 0,00                     | 2,00 ± 2,65                     | -                 |
| Moyennes                                       | <b>20,42 ± 3,18<sup>b</sup></b> | <b>24,79 ± 5,54<sup>b</sup></b> | <b>15,13 ± 4,08<sup>a</sup></b> |                   |
| SEB1                                           | 1,67 ± 2,89                     | 0,00 ± 0,00                     | 2,33 ± 2,31                     | +                 |
| SEB2                                           | 83,33 ± 14,43                   | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| SEB3                                           | 6,67 ± 5,77                     | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| SEB4                                           | 3,33 ± 0,77                     | 0,00 ± 0,00                     | 0,33 ± 0,58                     | +                 |
| SEB5                                           | 6,67 ± 5,77                     | 10,00 ± 1,32                    | 2,00 ± 0,65                     | +                 |
| SEB6                                           | 15,00 ± 2,60                    | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| SEB7                                           | 6,67 ± 5,77                     | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| SEB8                                           | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | 0,00 ± 0,00                     | +                 |
| Moyennes                                       | <b>15,42 ± 4,75<sup>c</sup></b> | <b>1,25 ± 0,16<sup>c</sup></b>  | <b>0,58 ± 0,15<sup>b</sup></b>  | +                 |
| <b>Critère microbiologique</b><br>(Eric, 2021) | <b>10<sup>2a</sup> UFC/g</b>    | <b>10<sup>2a</sup> UFC/g</b>    | <b>-</b>                        | <b>Abs/25g</b>    |

+ : Présence ; - : Absence ; SED : Sédiment des étangs en dérivation ; SEB : Sédiment des étangs barrages

---

#### 1.4. Corrélations entre les contaminants microbiens du tilapia, de l'eau et des sédiments des étangs piscicoles

La figure 19 illustre la corrélation entre les différents contaminants microbiens du tilapia, de l'eau et du sédiment. Les résultats des analyses révèlent de façon générale de faibles corrélations entre les différents contaminants microbiens étudiés. Cependant, de fortes corrélations positives ont été observées entre *Enterococcus* des branchies du tilapia et *E. coli* des branchies et viscères du tilapia avec des coefficients respectifs de 0,87 et 0,92. Une forte corrélation est également observée entre *E. coli* des viscères et des branchies du tilapia ainsi qu'entre *Salmonella* de l'eau et du sédiment. Des corrélations modérées ont aussi été révélées entre *Enterococcus* des sédiments et *Salmonella* du tilapia, *Enterococcus* des viscères et *E. coli* des branchies de tilapia et enfin entre *S. aureus* des viscères et ceux des branchies de tilapia.

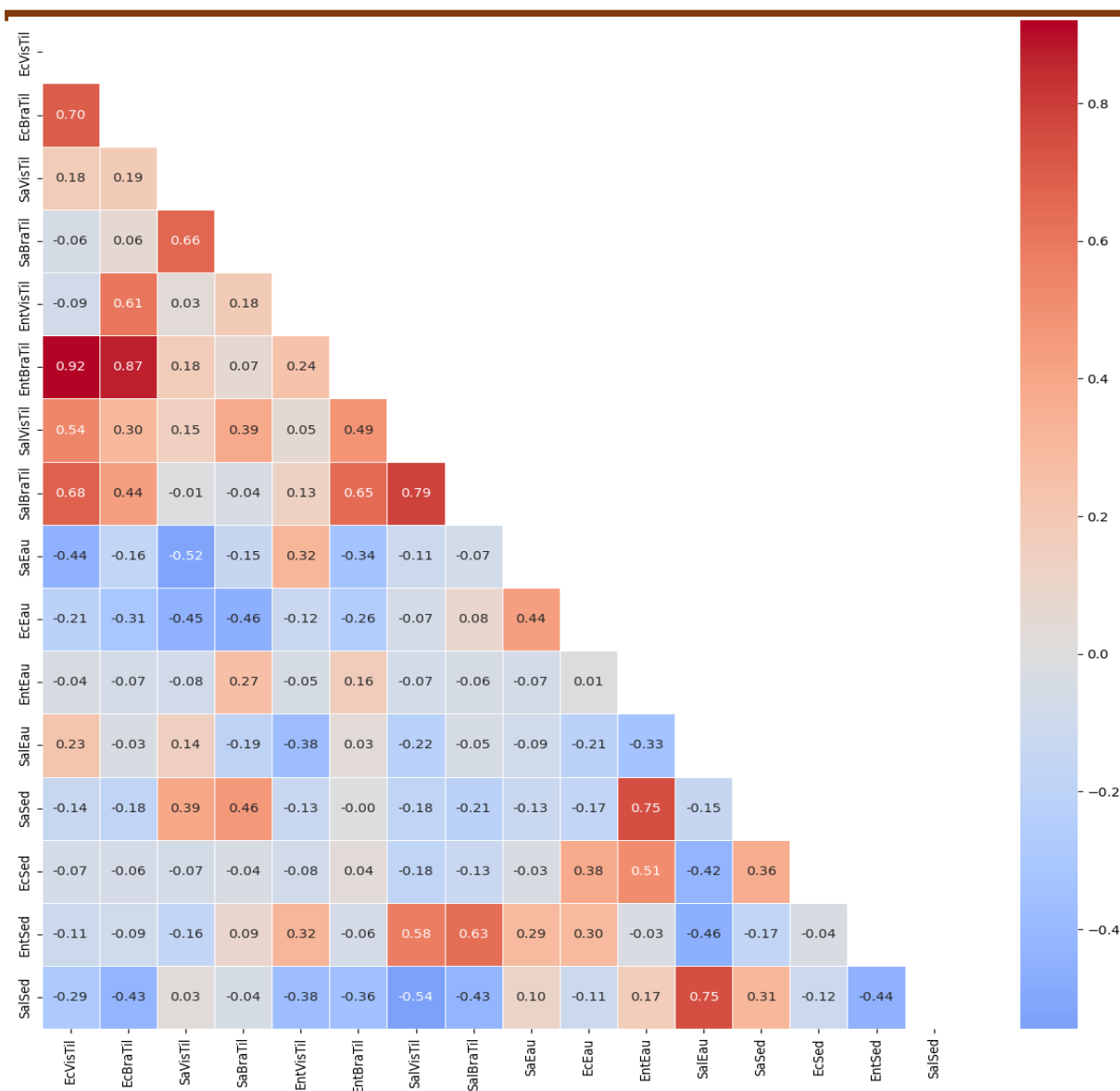


Figure 19 : Matrice de corrélation des charges microbiennes des eaux des étangs, sédiments et tilapia.

S.a : *S. aureus* ; E.c : *E. coli* ; En : *Enterococcus* ; Sal : *Salmonella* ; Vis : Viscère ; Bra : Branchie ; Sed : Sédiment ; Til : Tilapia.

## 1.5. Caractéristiques phénotypiques des isolats

### 1.5.1. Prévalence des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, l'eau et le sédiment issus des étangs barrage

Des tests phénotypiques (biochimiques, enzymatiques et morphologiques) ont permis de confirmer les isolats présomptifs des pathogènes microbiens étudiés. Il s'agit de *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* et *Enterococcus*. Ces pathogènes étaient présents avec de fortes

prévalences comprises entre 70 et 100 %. Une prévalence de 100 % a été observée pour *Enterococcus* isolé dans le tilapia, les eaux et les sédiments des étangs piscicoles. Une absence de *Salmonella* a été observée dans les échantillons de sédiment. Cependant, d'autres pathogènes ont été observés dans les matrices avec de faibles prévalences. Il s'agit de *Staphylococcus saprophyticus*, *Proteus mirabilis*, *Klebselia aerogenes*. Ces derniers n'ont pas été retrouvés dans les échantillons d'eau. Les pathogènes microbiens et leur prévalence sont consignés dans le Tableau XXIV

Tableau XXIV: Prévalence de pathogènes microbiens du tilapia, de l'eau et du sédiment des étangs barrage

| Pathogènes microbiens |                         | Echantillons de tilapia  |                                    | Echantillons d'eau d'étangs |                                    | Echantillons de sédiments |                                    |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|                       |                         | Nombres d'isolats testés | Proportion d'isolats confirmés (%) | Nombres d'isolats testés    | Proportion d'isolats confirmés (%) | Nombres d'isolats testés  | Proportion d'isolats confirmés (%) |
| Pathogènes ciblés     | <i>E. coli</i>          | 36                       | 90                                 | 40                          | 100                                | 36                        | 90                                 |
|                       | <i>S. aureus</i>        | 28                       | 70                                 | 40                          | 100                                | 36                        | 90                                 |
|                       | <i>Salmonella</i>       | 4                        | 80                                 | 15                          | 100                                | 0                         | 0                                  |
|                       | <i>Enterococcus</i>     | 40                       | 100                                | 40                          | 100                                | 40                        | 100                                |
| Autres pathogènes     | <i>S. saprophyticus</i> | 4                        | 10                                 | 0                           | 0                                  | 4                         | 10                                 |
|                       | <i>P. mirabilis</i>     | 1                        | 20                                 | 0                           | 0                                  | 0                         | 0                                  |
|                       | <i>K. aerogenes</i>     | 4                        | 10                                 | 0                           | 0                                  | 4                         | 10                                 |

### 1.5.2. Prévalence des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, l'eau et le sédiment issus des étangs en dérivation

Le Tableau XXV présente les prévalences des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, l'eau et le sédiment issu des étangs en dérivation. Sur la base des tests phénotypiques effectués sur les isolats, de fortes prévalences comprises entre 80 % et 100 % ont été observées. Une absence de *Salmonella* a été observée dans les échantillons de sédiment. Cependant, d'autres pathogènes dont, *S. saprophyticus*, *Proteus mirabilis*, *Klebselia aerogenes* ont également été observés avec de faibles prévalences.

Tableau XXV: Prévalence de pathogènes microbiens du tilapia, de l'eau et des sédiments des étangs en dérivation

| Pathogènes microbiens |                         | Echantillons de tilapia  |                                    | Echantillons d'eau d'étangs |                                    | Echantillons de sédiments |                                    |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|                       |                         | Nombres d'isolats testés | Proportion d'isolats confirmés (%) | Nombres d'isolats testés    | Proportion d'isolats confirmés (%) | Nombres d'isolats testés  | Proportion d'isolats confirmés (%) |
| Pathogènes ciblés     | <i>E. coli</i>          | 32                       | 80                                 | 32                          | 80                                 | 40                        | 100                                |
|                       | <i>S. aureus</i>        | 36                       | 90                                 | 36                          | 90                                 | 40                        | 100                                |
|                       | <i>Salmonella</i>       | 7                        | 100                                | 12                          | 80                                 | 0                         | 0                                  |
|                       | <i>Enterococcus</i>     | 40                       | 100                                | 40                          | 100                                | 40                        | 100                                |
| Autres pathogènes     | <i>S. saprophyticus</i> | 4                        | 10                                 | 4                           | 10                                 | 0                         | 0                                  |
|                       | <i>P. mirabilis</i>     | 0                        | 0                                  | 3                           | 20                                 | 0                         | 0                                  |
|                       | <i>K. aerogenes</i>     | 8                        | 20                                 | 0                           | 0                                  | 0                         | 0                                  |

### 1.6. Profil antibiorésistant des souches étudiées

Les taux de résistance de *E. coli*, *S. aureus* et *Enterococcus* sp aux différents antibiotiques testés sont présentés dans le Tableau XXVI. Sur les 68 souches de *E. coli* isolées du tilapia, 30 ont fait l'objet du test de résistance aux antibiotiques. Les familles d'antibiotiques testées étaient les Beta-lactamines, les aminosides, les quinolones et les macrolides. De très fort taux de résistance ont été observés au niveau des beta-lactamines et aminosides. En effet, toutes les souches de *E. coli* testées ont présenté une résistance pour l'amoxicilline + l'acide clavulanique (AMC), l'ampicilline (AM), le cefoxitine et la kanamycine. Des taux de résistances de 65 % et 85 % ont respectivement été observés pour la norfloxacine et la cefotaxime. L'azithromycine était le seul antibiotique sur lequel, la résistance des souches de *E. coli* étudiées était faible.

Quant à *S. aureus*, 30 souches isolées du tilapia ont été testées aux antibiotiques. Les familles d'antibiotiques testées étaient les Beta-lactamines, les aminosides, les quinolones et les macrolides. Les souches de *S. aureus* présentaient une forte résistance aux Beta-lactamines et une forte sensibilité aux antibiotiques des trois autres familles que sont, les C3G (CRO et FOX), les macrolides (AZN) et aminoglycoside (KMN). Cependant, ces résistances étaient plus importantes pour l'ampicilline (AM), l'amoxicilline avec l'acide clavulanique (AMC), la doxycycline (DXT), l'amikacine (AK), révélant ainsi la présence d'un phénotype *Staphylococcus* Résistante à la Méricilline (SARM). Les céphalosporines et l'azithromycine (AZN) étaient les seuls antibiotiques sur lesquels la sensibilité de *S. aureus* était forte.

---

Quatre classes d'antibiotiques (bêta-lactamines, glycopeptides, aminosides et quinolones) ont été testés sur 30 souches de *Enterococcus* sp. La majorité des souches montraient une sensibilité aux bêta-lactamines et aux glycopeptides. Cependant, plusieurs souches ont exhibé une résistance aux aminosides. De plus, l'antibiorésistance pour les quinolones montrait une variabilité, à la fois sensible pour certaines souches et résistant pour d'autres. L'antibiogramme effectué est illustré par la Figure 20.

Tableau XXVI: Antibiotype des pathogènes isolés du tilapia des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra

| Bactéries                        | Susceptibilité | Beta-lactamine |     |     | Tétracycline |     | Aminoside |    |     | Quinolone | Macrolide | Glycopeptide |
|----------------------------------|----------------|----------------|-----|-----|--------------|-----|-----------|----|-----|-----------|-----------|--------------|
|                                  |                | AM             | CRO | FOX | AMC          | DXT | KMN       | CA | AK  | NOR       | AZN       | VA           |
| <i>E. coli</i><br>(n=30)         | R + I          | 100            | 85  | 100 | 100          | -   | -         | 92 | 100 | 65        | 15        | -            |
|                                  | S              | 0              | 15  | 0   | 0            | -   | -         | 8  | 0   | 35        | 85        | -            |
| <i>S. aureus</i><br>(n=30)       | R + I          | 97             | 14  | 7   | -            | 97  | 59        | -  | 93  | -         | -         | -            |
|                                  | S              | 3              | 86  | 93  | 0            | 3   | 41        | -  | 7   | -         | -         | -            |
| <i>Enterococcus</i><br>sp (n=30) | R + I          | 13             | -   | 7   | -            | -   | -         | -  | 47  | 100       | -         | 93           |
|                                  | S              | 87             | -   | 93  | -            | -   | -         | -  | 53  | 0         | -         | 7            |

NOR : Norfloxacin ; AZN : Azithromycine ; CRO : Cefotaxine ; DXT : Doxycycline ; AMC : Amoxicilline + acide clavulanique ; AM : Ampicilline ; AK : Amikacine ; CA : Gentamicine ; FOX : Cefoxitine ; KMN : Kanamycine ; VA : Vancomycine

## 1.7. Caractéristiques moléculaires des souches étudiées

### 1.7.1. Facteurs de virulences des pathogènes microbiens issus du tilapia provenant des étangs en dérivation

La pathogénicité des souches de *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* et *Enterococcus* a été étudiée. Les analyses ont porté sur 30 souches de chaque pathogène (*E. coli*, *S. aureus* et *Enterococcus*) isolé du tilapia. Pour *Salmonella*, 7 souches isolées du tilapia ont été étudiées. Les gènes de virulence recherchés étaient *stX1*, *stX2*, *sT* et *lT* pour les souches de *E. coli*. Les entérotoxines recherchées dans les souches de *S. aureus* étaient *seA*, *seB*, *seC*, *seD* et *seE*. Les gènes *invP* et *spvC* ont été recherchés dans les souches de *Salmonella* et le gène *gelE* pour *Enterococcus*.

Plusieurs gènes de virulence ont été détectés à des pourcentages élevés. Les souches de *E. coli* ont porté les gènes *stX1*, *stX2*, *sT* et *lT* avec des pourcentages respectifs de 34, 26, 94 et 33 %. Quant aux souches de *S. aureus*, tous les gènes ont été exprimés avec une dominance de *seC* avec un pourcentage de 84 %. En ce qui concerne *Salmonella*, seul le gène *invP* a été révélé avec un pourcentage de 20 %. Enfin, la *gelE* a été exprimé à 37 %. Les différents gènes identifiés sur les pathogènes microbiens isolés du Tilapia des étangs en dérivation sont représentés sur la Figure 20.

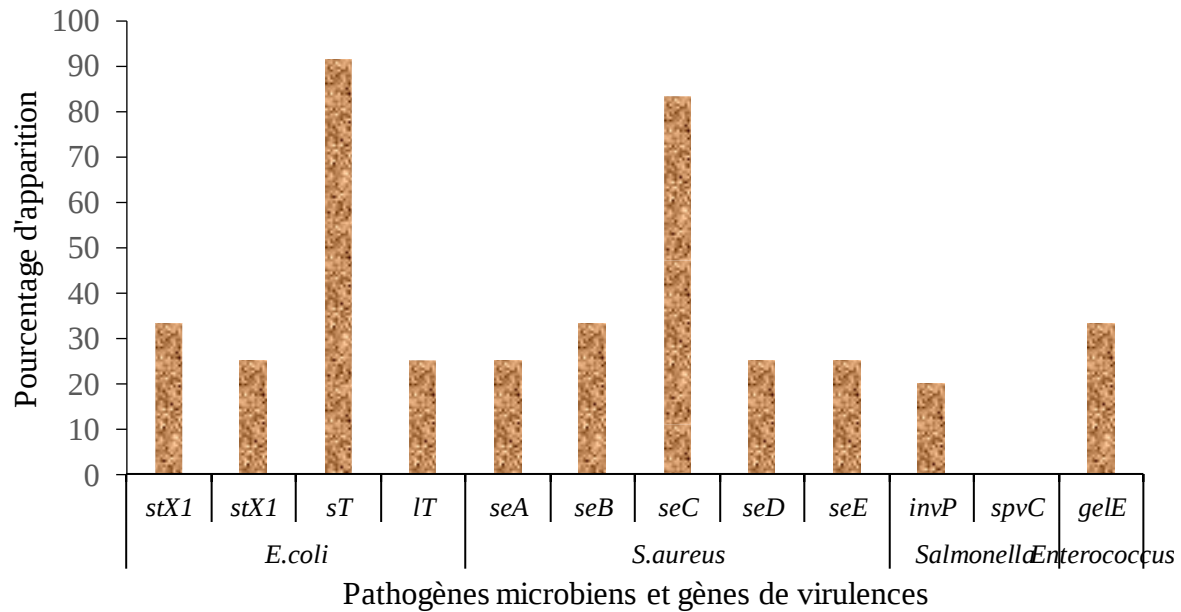


Figure 20: Taux d'apparition des gènes de virulences dans les espèces pathogènes des tilapia des étangs en dérivation

### 1.7.2. Facteurs de virulences des contaminants microbiens issus du tilapia, l'eau et le sédiment issus des étangs barrages

La pathogénicité des souches de *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* et *Enterococcus* isolées des échantillons issus des étangs barrage a également été étudiée. Les analyses ont porté sur les mêmes nombres de souches. Pour *Salmonella*, 4 souches ont été étudiées. Les gènes étudiés sont *stX1*, *stX2*, *sT* et *lT* pour *E. coli*, les entérotoxines *seA*, *seB*, *seC*, *seD* et *seE* pour *S. aureus*, *invP* et *spvC* pour *Salmonella* et le *gelE* pour *Enterococcus*. Seul les gènes *seA*, *seB*, *seC* ont été révélés pour les souches de *S. aureus* avec des pourcentages respectifs de 20, 10 et 30. Pour *E. coli*, seul le gène thermostable a été révélé avec un pourcentage de 45. Quant à *Enterococcus*, 10 % des souches portaient le *gelE*. Les différents gènes étudiés sur les pathogènes microbiens isolés du tilapia et leur pourcentage d'apparition sont représentés sur la Figure 21. Le profil électrophorétique est représenté par la Figure 22.

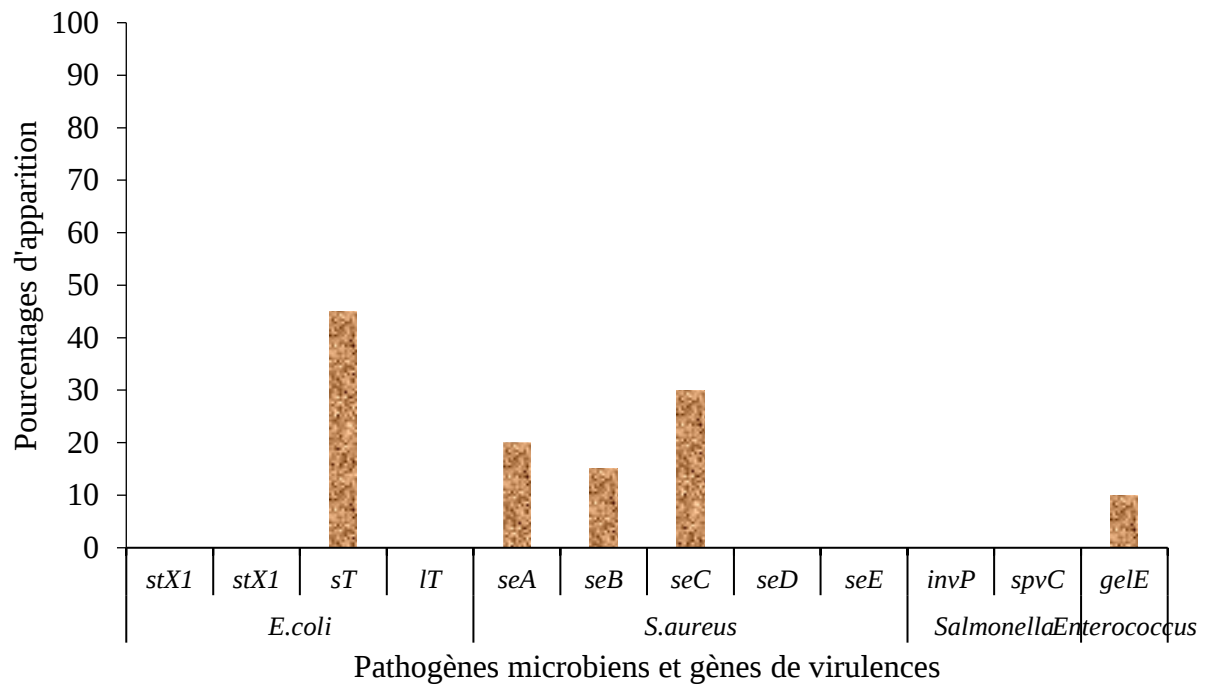


Figure 21: Taux d'apparition des gènes de virulences dans les espèces pathogènes du tilapia des étangs barrages

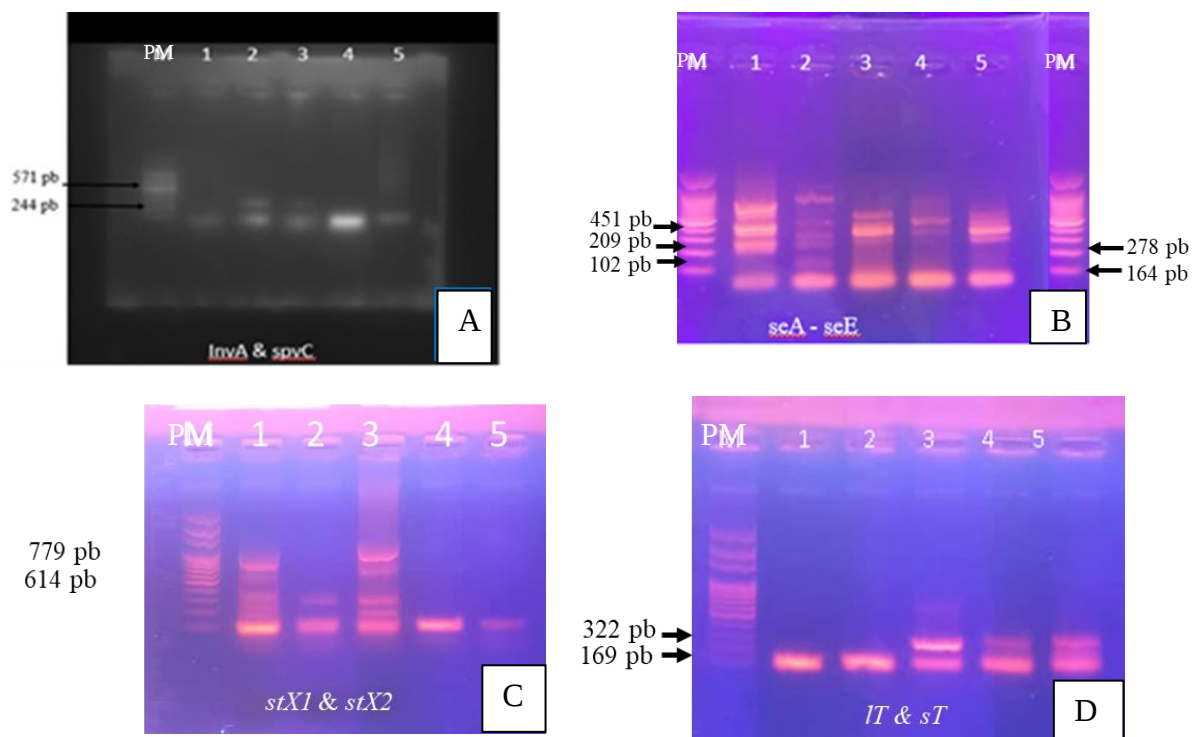


Figure 22: Profils électrophorétiques des gènes recherchés

A: gènes *invA* et *spvC* des extraits d'ADN de *Salmonella*; B: gènes *seA-seE* des extraits d'ADN de *S. aureus*; C: gènes *stX1* et *stX2* des extraits d'ADN de *E. coli*; D: gènes *IT* et *sT* des extraits d'ADN de *E. coli*

### 1.8. Caractéristiques physico-chimiques des eaux des étangs de la région du Haut-Sassandra

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'étangs piscicoles sont présentées dans le Tableau XXVII. Il s'agit de la température, le pH, l'oxygène dissout, la conductivité, le taux de saturation et la salinité. Les valeurs de ces paramètres observées dans les étangs barrages sont statistiquement identiques à celles des étangs en dérivation, excepté le taux de saturation qui est plus élevé dans les étangs barrages. Des températures ambiantes et un pH oscillant autour de la neutralité ont été observées. Quant à l'oxygène, des valeurs critiques de 3,9 ont été observées dans les deux types d'étangs. De basses conductivités et une salinité nulle sont également observées. Les analyses statistiques ont révélé que les caractéristiques physico-chimiques des eaux des différents types d'étangs étaient conformes aux normes, excepté le taux de saturation. En effet, les paramètres sont conformes aux normes prescrites pour la pisciculture, notamment la culture du tilapia. Seul le taux de saturation avait des valeurs statistiquement supérieures à la norme et ce dans les deux types d'étangs.

Tableau XXVII: Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des étangs piscicoles

| Type d'étangs |                                    | Température (°C)          | pH                     | Oxygène dissout (mg/L)   | Conductivité (mg/L)         | Taux de saturation (%)     | Salinité (p-mille) |
|---------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------|
| EB            | Moyenne ± SD                       | 29,98 ± 2,69 <sup>a</sup> | 7,2 ± 0,8 <sup>a</sup> | 3,91 ± 3,2 <sup>a</sup>  | 82,3 ± 10,7 <sup>a</sup>    | 120,4 ± 10,7 <sup>a</sup>  | 0 ± 0              |
|               | Test-t                             | 16,8 -7,37                | 8,17-14 <sup>a</sup>   | 3,9819                   | -57,601                     | 4,3913                     | -                  |
|               | <i>p</i>                           | < 0,001                   | < 0,001                | 0.005                    | < 0,001                     | 0.003                      | -                  |
| ED            | Moyenne ± SD                       | 31,2 ± 1,3 <sup>a</sup>   | 6,9 ± 0,5 <sup>a</sup> | 3,95 ± 1,47 <sup>a</sup> | 87,58 ± 10,7 <sup>a</sup>   | 74,2 ± 18,9 <sup>b</sup>   | 0±0                |
|               | Test-t                             | 37,62 -12,72              | 11-22,9                | 1,82                     | -56,371                     | 3,6226                     | -                  |
|               | <i>p</i>                           | < 0,001                   | < 0,001                | 0.110                    | < 0,001                     | < 0,001                    | -                  |
| <b>Normes</b> | (Morin-Crini <i>et al.</i> , 2017) | <b>14-37</b>              | <b>5-11</b>            | <b>&gt;3<sup>a</sup></b> | <b>&lt; 300<sup>b</sup></b> | <b>&lt; 50<sup>b</sup></b> | <b>&lt; 30</b>     |

EB : Etangs Barrages ; ED : Etangs en Dérivation ; SD : Standard de Déviation ; *p* : probabilité ; *p* <0,05 : indique une différence significative entre les valeurs comparées

### 1.9. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau d'étangs et les contaminants biologiques du tilapia, l'eau d'étangs et du sédiment

La figure 23 présente la matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les contaminants biologiques. L'analyse de la figure révèle de faibles corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les pathogènes microbiens étudiés. Cependant, des corrélations négatives ont été observées entre la température de l'eau et le taux de saturation ainsi que la température de l'eau et l'oxygène dissout.

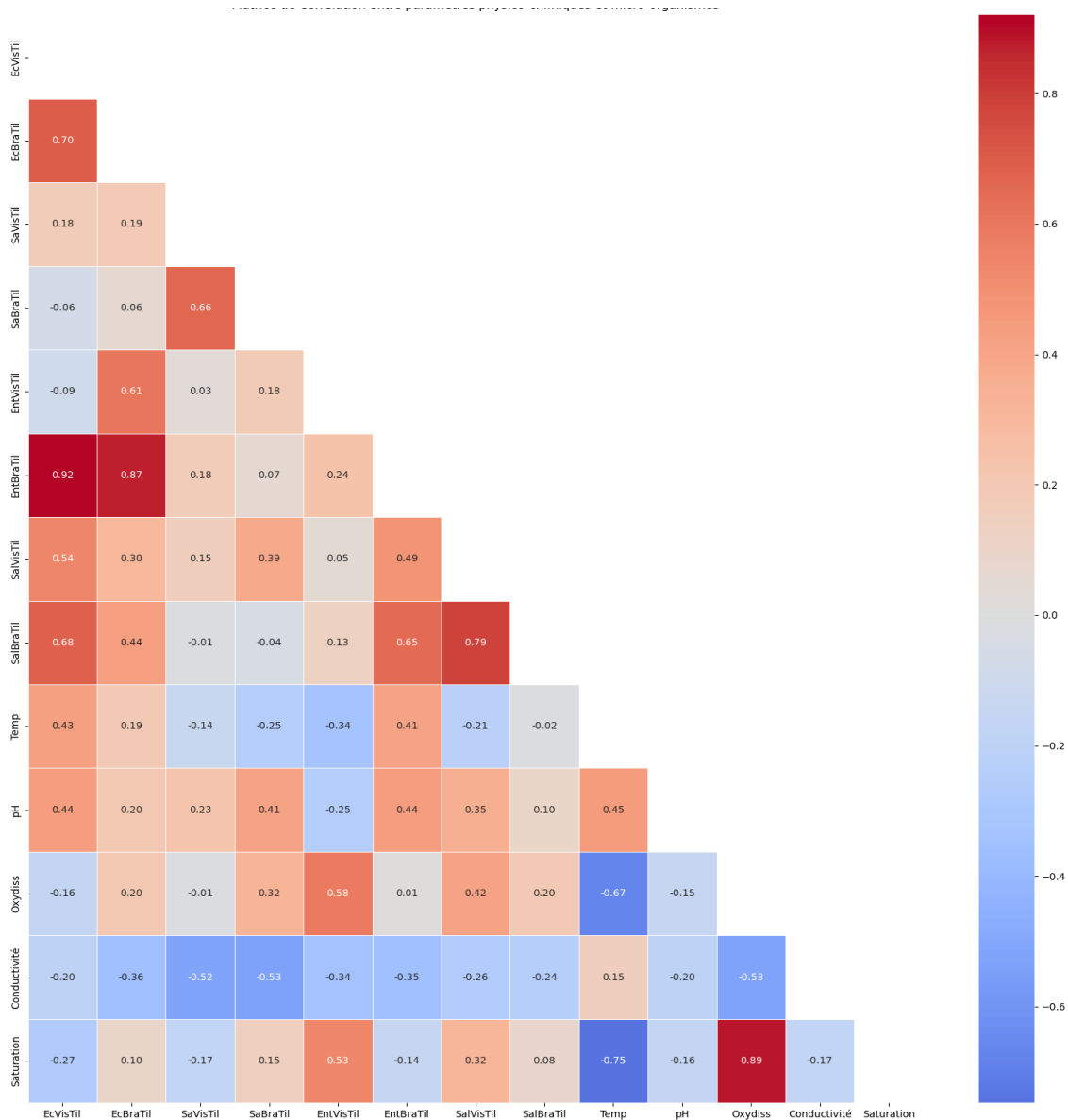


Figure 23 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et les contaminants biologiques du tilapia

S.a : *S. aureus* ; E.c : *E. coli* ; En : *Enterococcus* ; Sal : *Salmonella* ; Vis : Viscère ; Bra : Branchie ; Sed : Sédiment ; Til : tilapia.

## 2. DISCUSSION

Dans l'optique de déterminer la contamination du tilapia, de l'eau et du sédiment par les pathogènes microbiens, des analyses microbiologiques ont été réalisées. Les pathogènes ciblés (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* sp et *Salmonella* sp) étaient présents dans les trois matrices. La présence de ces espèces bactériennes dans l'eau, le sédiment et le poisson tilapia pourrait être due à une contamination d'origine anthropique ou à la nature de leur environnement. La contamination des étangs piscicoles par les activités anthropiques a été révélée dans les travaux de Adingra *et al.* (2010) et de Bourdonnais *et al.* (2022) à Yaoundé au Cameroun. Ces auteurs ont montré que ces eaux de production contaminées étaient à l'origine de la contamination des poissons par des bio indicateurs de pollution comme *E. coli*, *Enterococcus* et les coliformes totaux. Cependant, pour *E. coli* et *S. aureus*, les charges sont inférieures aux critères microbiologiques. Les charges bactériennes des branchies des poissons étaient plus élevées que celles des viscères. En effet, les branchies agissent comme des organes filtrant l'eau. Elles sont directement en contact avec l'eau. Les travaux de Mansour *et al.* (2021) présentaient déjà les branchies comme des réservoirs pour diverses bactéries et agents pathogènes en raison de leur exposition directe à l'eau contaminée. Cette idée est renforcée par Baker *et al.* (2022), pour qui la physiologie des poissons ainsi que leur mode de vie aquatique favoriseraient l'accumulation de bactéries dans les branchies. De plus, la présence plus marquée de *Enterococcus* dans les branchies par rapport aux viscères souligne l'importance de ces organes comme indicateurs de contamination environnementale (Olaimat *et al.*, 2020). Cependant, les viscères et les branchies du tilapia provenant des étangs barrages étaient moins contaminées que celles des étangs en dérivation.

*Salmonella* dans le tilapia est inquiétante, car les salmonelloses dont la fièvre typhoïde est une infection alimentaire récurrente. Le tilapia présenterait donc des risques immédiats liés à cette bactérie (Nguyen *et al.*, 2022). *S. aureus* dans les viscères et les branchies, même à des concentrations inférieures aux normes est aussi préoccupant. Cette bactérie a une bonne capacité à produire des toxines causant des intoxications alimentaires pour les consommateurs. Des études antérieures ont montré que *S. aureus* peut se multiplier dans des environnements aquatiques et sa présence dans le poisson peut être liée à des pratiques environnantes non-hygiéniques et à des manipulations inappropriées (Jiang *et al.*, 2021).

Le tilapia des étangs en dérivation était plus contaminé par *Entérocooccus* que ceux des étangs barrage. La présence de *Entérocooccus* dans le poisson même à des faibles teneurs, révèle une contamination de l'environnement du poisson. Les eaux et les sédiments contenaient aussi *S.*

---

*aureus*, *E. coli* et *Enterococcus*. La présence de ces microorganismes dans ces matrices serait due aux activités anthropiques autour des étangs piscicoles.

Des corrélations sont établies entre les espèces pathogènes du tilapia, des eaux et des sédiments des étangs piscicoles. De fortes corrélations observées entre *Enterococcus* et *E. coli* dans le tilapia confirment que ces deux bactéries sont des indicateurs de contamination fécale. Une forte corrélation observée entre *E. coli* du tilapia et *Salmonella* des eaux et des sédiments illustre parfaitement la cohabitation des entérobactéries. Ces résultats sont en accord avec ceux de Mansour *et al.* (2020), qui ont également observé une forte corrélation entre *E. coli* dans les tissus de poissons et ceux de leur environnement aquatique. Ces données indiqueraient une transmission potentielle des bactéries de l'eau et des sédiments vers les ressources. La faible corrélation entre les pathogènes des eaux et des sédiments et ceux du tilapia est similaire aux conclusions de Kumar & Singh (2019). Ces auteurs ont montré que les poissons peuvent avoir des contaminations différentes de leur écosystème, en raison de leur comportement alimentaire et de leur habitat. La dynamique de transmission des bactéries peut varier considérablement selon les espèces et les conditions environnementales. La corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau des étangs et les contaminants biologiques était faible. D'autres facteurs, tels que la disponibilité des nutriments et les interactions écologiques, pourraient jouer un rôle plus déterminant dans la dynamique des populations microbiennes.

La présence des bactéries dans le poisson représentant un potentiel danger, la caractérisation par une antibiorésistance et la recherche des gènes de virulence des espèces isolées du tilapia se sont avérées nécessaires. La plupart des souches de *E. coli* étaient résistantes aux beta-lactamines et aux aminosides. Cette résistance pourrait être due à l'acquisition de gènes de résistance. De plus, la quantité réduite de peptidoglycane présente chez ce microorganisme diminuerait l'efficacité des beta-lactamines. D'après Milen (2022), les antibiotiques beta-lactamines ciblent la paroi cellulaire des bactéries. Ce sont des antibiotiques bactéricides agissant sur les bactéries en phase de reproduction. Ils ont un effet sur la membrane bactérienne, en particulier sur les protéines qui se lient à la pénicilline (PLP). Il est préoccupant que ces souches de *E. coli* soient très résistantes aux beta-lactamines. Ces bactéries possèdent une bêta-lactamase à spectre étendu (BLSE) grâce à leur résistance. Ces présentes données ne corroborent pas celles de Eva (2021) qui a montré de faibles résistances de *E. coli* (10 %) face aux beta-lactamines et les fluoroquinolones. Par contre, les présentes données sont proches de celles de Coulibaly *et al.* (2018), qui ont observé des résistances

considérables aux beta-lactamines et aux aminosides. Des souches de *E. coli* induisaient une bêta-lactamase à spectre étendu (BLSE). Des gènes de virulence ont été détectés dans des souches de *E. coli*. Les gènes STEC (*stX1* et *stX2*) ont été observés avec un taux d'environ 30 % pour chacun des souches issues du tilapia des étangs en dérivation. La présence de ces gènes appelés aussi Shiga-toxine dans le tilapia pourrait provoquer de graves infections alimentaires pour les consommateurs. Ces gènes proviendraient d'autres contaminations. Pour Gourmelon (2006) la présence de ces gènes serait due à un environnement généralement contaminé. Des taux plus faibles de 4, 34 % et 2,61 % respectifs pour *stX1* et *stX2* ont été obtenus dans les travaux de Ribeiro *et al.* (2016) sur des souches de *E. coli* provenant des poissons.

De fortes résistances des souches de *S. aureus* ont été observées pour certains bêta lactamines notamment l'ampicilline et l'amoxicilline + l'acide clavulanique. Cette résistance s'expliquerait par l'acquisition de gènes de résistance. Cela donne à ces bactéries un phénotype SARM. La résistance du *S. aureus* à la méticilline constitue une source d'inquiétude majeure pour les chercheurs en raison de son implication dans diverses intoxications. Ces résultats sont similaires à ceux de Touaitia (2015), qui avaient montré une forte résistance à la pénicilline, la kanamycine, la norfloxacin, la cefoxitine, la gentamycine et l'ofloxacin. Les phénotypes Méti R et KTG sont respectivement illustrés par la résistance à la cefoxitine et à la gentamicine. Les études menées par Moustafa *et al.* (2024) ont également montré une forte résistance de *S. aureus* à la pénicilline. La majorité des souches de *S. aureus* abritait des gènes de virulence notamment *seA*, *seB*, *seC*, *seD* et *seE*. L'apparition des entérotoxine variait de 15 (*seB*) à 80 % (*seC*). La présence de ces gènes ne rend pas la consommation du poisson tilapia sans danger. En effet, de nombreuses études ont démontré que ces entérotoxines sont responsables de diverses infections, y compris les infections intestinales et les diarrhées, parfois accompagnées de lésions tissulaires (Castro *et al.* (2016) ; Lucas *et al.* (2020) ; Bouhila & Boussid, 2020). En outre, ces gènes confirment l'identification de souches de *S. aureus* car spécifiques à l'espèce. *Enterococcus* sp, était résistant à la norfloxacin à 100 % ; ce qui indiquerait une tendance préoccupante dans diverses études (Smith *et al.*, 2024). D'autre recherches antérieures ont montré sa résistance (30 % et 70 %) pour la vancomycine (Barton *et al.*, 2023), ce qui traduit une évolution rapide et alarmante de la résistance chez cette bactérie. En outre, la gélatinase (*gelE*) a été identifiée dans 35 % des souches isolées du tilapia issus des étangs en dérivation. Ce gène codant pour une enzyme protéase, la gélatinase qui dégraderait la gélatine, aurait une origine clinique

(Karim & Abdullah, 2023). Cette enzyme est souvent utilisée comme marqueur pour identifier des espèces dans des contextes cliniques et environnementaux (Dutra *et al.*, 2013). Cela confirme l'identité des souches étudiées. Selon López *et al.* (2015), le gène *gelE* est spécifique aux bactéries du genre *Enterococcus*. Les paramètres physico-chimiques des eaux des étangs piscicoles dans la zone d'étude étaient conformes aux normes. Ces eaux sont donc propices à la pisciculture. Ces résultats confirment ceux de Koukougnon (2020) qui indiquait que les eaux de la Région du Haut-Sassandra étaient propices à la pisciculture.

### 3. CONCLUSION PARTIELLE

La présente étude a permis d'identifier et de caractériser les contaminants microbiens pathogènes du tilapia, des eaux et des sédiments issus des étangs piscicoles. *E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus* sp et *Salmonella* sp étaient présents dans les différents échantillons analysés. Ils étaient présents dans les échantillons issus des deux types d'étangs avec des charges inférieures aux critères microbiologiques. Les gènes codants pour la Shiga toxine (*stX1* et *stX2*), les entérotoxines (*seA*, *seB*, *seC*, *seD* et *seE*), la gélatinase (*gelE*) ont été identifiés chez les souches isolées du tilapia. Aussi, ces souches présentaient des résistances aux antibiotiques, notamment les beta-lactamines, les tétracyclines, les quinolones et les aminosides. La présence de ces gènes de virulences et la résistance aux antibiotiques montrent que la consommation du tilapia n'est pas sans danger malgré les faibles charges microbiennes observées. Les paramètres physico-chimiques de l'eau étudiés montrent un environnement favorable à l'activité piscicole. Le tilapia issu des étangs barrages présentent un meilleur profil pour la réalisation de l'activité piscicole.

---

### **III : CONTAMINANTS CHIMIQUES DU POISSON TILAPIA, DE L'EAU DES ETANGS ET DES SEDIMENTS ET RISQUES LIES A LA CONSOMMATION DU TILAPIA ISSU DE LA PISCICULTURE**

#### **1. RESULTATS**

##### **1.1. Contaminants en Eléments Traces Métalliques du tilapia, de l'eau des étangs et des sédiments piscicoles de la région du Haut-Sassandra**

Le dosage des Eléments Traces Métalliques dans le tilapia, l'eau et le sédiment a révélé la présence du mercure (Hg), de l'arsenic (As), du cadmium (Cd) et du plomb (Pb) dans les matrices étudiées. Ces ETM étaient présents aussi bien dans les échantillons des étangs barrages que ceux des étangs en dérivation. Cependant, le mercure et l'arsenic n'ont pas été détectés dans le tilapia, quel que soit l'origine (étang). Le cadmium et le plomb quant à eux étaient présents dans le tilapia. Ils étaient plus concentrés dans le tilapia issus des étangs en dérivation que ceux des étangs barrages. Au niveau des sédiments, les quatre ETM ont été détectés dans les étangs en dérivation et trois dans les étangs barrages. L'arsenic n'a donc pas été détecté dans les sédiments des étangs barrages. Les teneurs moyennes de plomb étaient élevées. Elles étaient de 3,0147 mg/kg et 3,3567 mg/kg respectivement dans les sédiments des étangs barrages et ceux des étangs en dérivation. L'arsenic, le cadmium et le plomb ont été détectés dans les eaux des différents types d'étangs. Cependant, les teneurs étaient faibles comparativement aux deux autres matrices. Les teneurs moyennes des différents Eléments Traces Métalliques des tilapia, des eaux et des sédiments des étangs piscicoles sont regroupées dans le Tableau XXVIII.

Tableau XXVIII: Teneurs moyennes en mg/kg des ETM dans le tilapia et les sédiments et en mg/L des eaux d'étangs piscicoles

| Type d'étangs        | Matrices | ETM  | N | Minimum | Moyenne $\pm$ SD    | Maximum |
|----------------------|----------|------|---|---------|---------------------|---------|
| Etangs en dérivation | Tilapia  | [Hg] | 8 | 0,0000  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 0,0000  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,0481  | 0,0400 $\pm$ 0,006  | 0,0555  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 0,0355  | 0,0231 $\pm$ 0,0070 | 0,0466  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0000  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 0,0000  |
|                      | Sédiment | [Hg] | 8 | 0,0470  | 0,0292 $\pm$ 0,0127 | 0,0622  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,8681  | 0,7682 $\pm$ 0,0732 | 0,9768  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 3,7282  | 3,0147 $\pm$ 0,4124 | 4,5074  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0214  | 0,0182 $\pm$ 0,0028 | 0,0264  |
|                      | Eau      | [Hg] | 8 | 0,0028  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 0,0080  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,0129  | 0,0125 $\pm$ 0,0002 | 0,0132  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 0,2820  | 0,1929 $\pm$ 0,0459 | 0,3127  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0316  | 0,0179 $\pm$ 0,0239 | 0,0722  |
| Etangs barrages      | Tilapia  | [Hg] | 8 | 0,0000  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 0,0000  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,0010  | 0,0000 $\pm$ 0,0010 | 0,0010  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 0,0200  | 0,0020 $\pm$ 0,0120 | 0,0350  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0000  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 0,0000  |
|                      | Sédiment | [Hg] | 8 | 0,0174  | 0,0110 $\pm$ 0,0056 | 0,0240  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,9348  | 0,7682 $\pm$ 0,0834 | 1,0246  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 3,3967  | 3,3567 $\pm$ 0,0993 | 3,6422  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0120  | 0,0000 $\pm$ 0,0105 | 0,0250  |
|                      | Eau      | [Hg] | 8 | 0,1346  | 0,0000 $\pm$ 0,0000 | 1,0500  |
|                      |          | [Cd] | 8 | 0,0395  | 0,0126 $\pm$ 0,0170 | 0,0531  |
|                      |          | [Pb] | 8 | 0,3328  | 0,3262 $\pm$ 0,0030 | 0,3355  |
|                      |          | [As] | 8 | 0,0524  | 0,0140 $\pm$ 0,0245 | 0,0740  |

ETM : Eléments Traces Métalliques ; N : Nombre d'échantillons ; SD : Standard de déviation ; Hg : Mercure ; Cd : Cadmium ; Pb : Plomb ; As : Arsenic.

## 1.2. Comparaison des teneurs moyennes des ETM avec les normes en vigueur

### 1.2.1. Comparaison des teneurs moyennes des ETM dans le tilapia avec les normes

Les teneurs moyennes des ETM dans le tilapia en comparaison des normes préconisées par l'UE et la FAO/OMS sont illustrées dans la figure 24. Les analyses statistiques ont montré une différence significative entre les teneurs moyennes de ces ETM et les normes. Les moyennes des contaminants étaient toutes inférieures aux normes. Ces normes sont de 0,5 mg/kg, 0,05 mg/kg, 0,3 mg/kg et 0,01 mg/kg respectivement pour le mercure, le cadmium, le

plomb et l'arsenic. Cette différence est observée aussi bien sur les teneurs d'ETM des tilapia issus des étangs barrages que celles issus des étangs en dérivation.

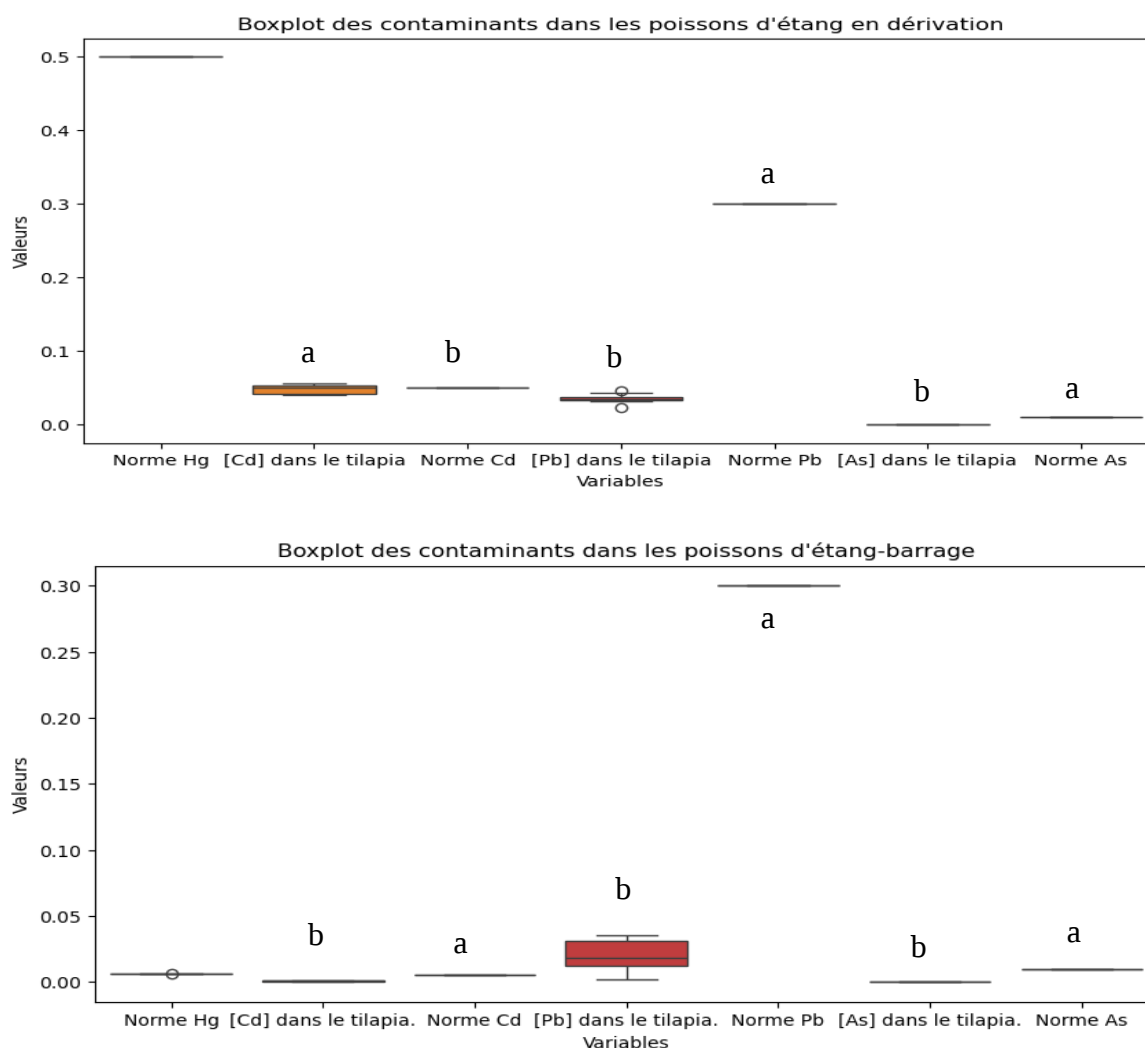


Figure 24: Box plot comparant les teneurs moyennes d'ETM du tilapia aux normes en fonction des types d'étangs

Les box plots affectés de la même lettre par élément chimique sont statistiquement identiques au seuil de 5 %

### 1.2.2. Comparaison des teneurs moyennes d' ETM de l'eau des étangs aux normes

La comparaison des teneurs des Eléments Traces Métalliques dans les eaux d'étangs et les normes en vigueur sont présentées dans figure 25. Les analyses statistiques ont montré une différence significative entre les teneurs d'ETM et les normes. Les teneurs en mercure et cadmium étaient inférieures aux normes. Quant aux plomb et l'arsenic, leurs teneurs étaient

statistiquement supérieures aux normes au seuil de 5 %. Les valeurs limites des normes sont de 0,5 mg/kg, 0,05 mg/kg, 0,3 mg/kg et 0,01 mg/kg respectivement pour le mercure, le cadmium, le plomb et l'arsenic (FAO/OMS, 2023 ; UE, 2023). Ces différences étaient aussi bien marquées dans les étangs barrages que dans les étangs en dérivation.

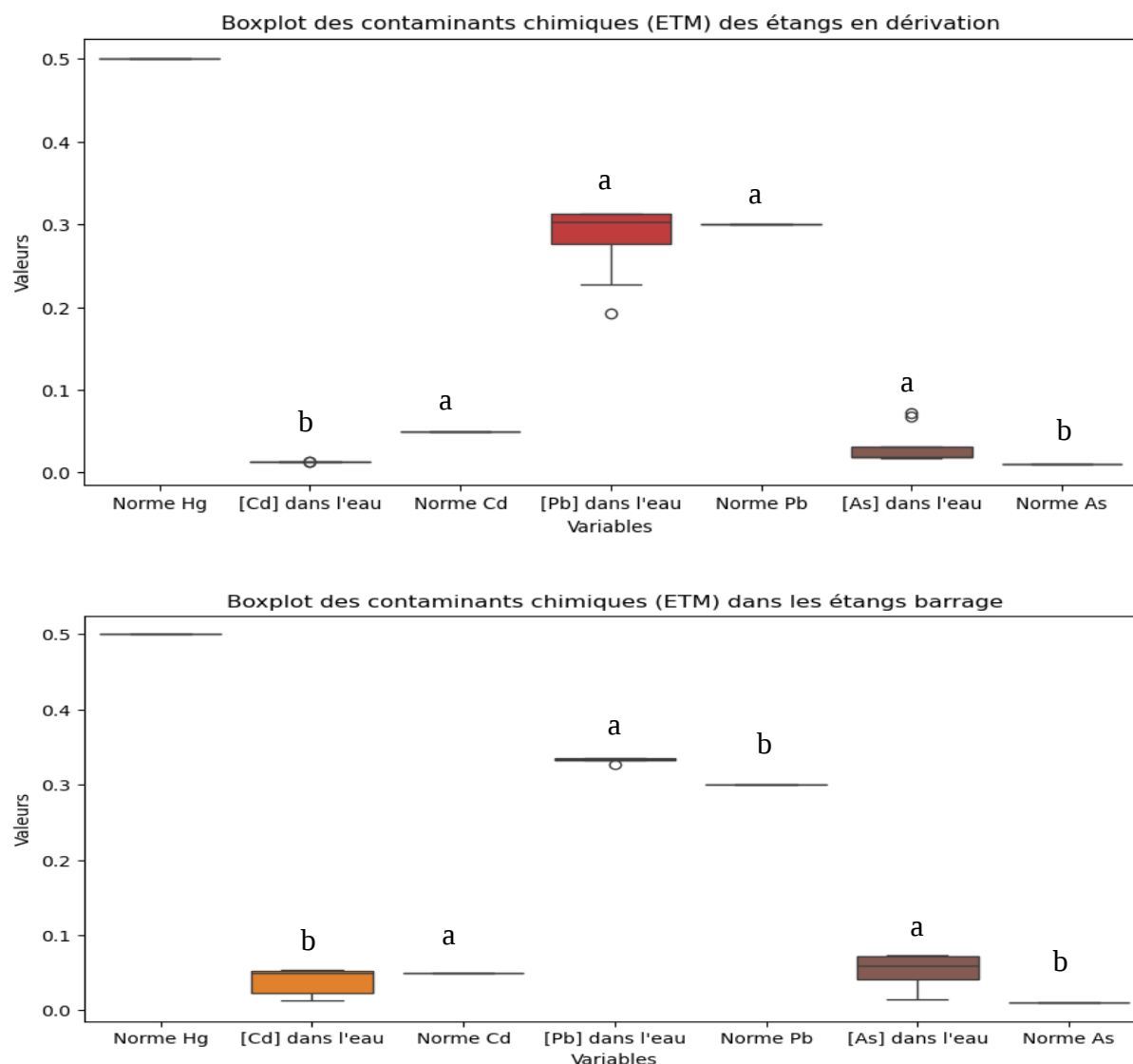


Figure 25: Box plot montrant la différence entre les teneurs moyennes des ETM dans l'eau en fonction des types d'étangs.

*Les box plots affectés de la même lettre par élément chimique sont statistiquement identiques au seuil de 5 %*

### 1.2.3. Comparaison des teneurs moyennes d' ETM des sédiments avec les normes

Les teneurs moyennes des ETM des sédiments des étangs piscicoles ont été comparées aux normes en vigueur. Les analyses statistiques ont montré une différence significative entre les

teneurs de ces ETM et les normes préconisées par l'UE et la FAO/OMS. Ces normes sont de 3,5 mg/kg, 10 mg/kg, 100 mg/kg et 19 mg/kg respectivement pour le mercure, le cadmium, le plomb et l'arsenic. Les teneurs moyennes des Eléments Traces Métalliques étaient toutes statistiquement inférieures aux normes. Les comparaisons entre les ETM des sédiments des deux types d'étangs et les normes sont représentées sur la Figure 26.

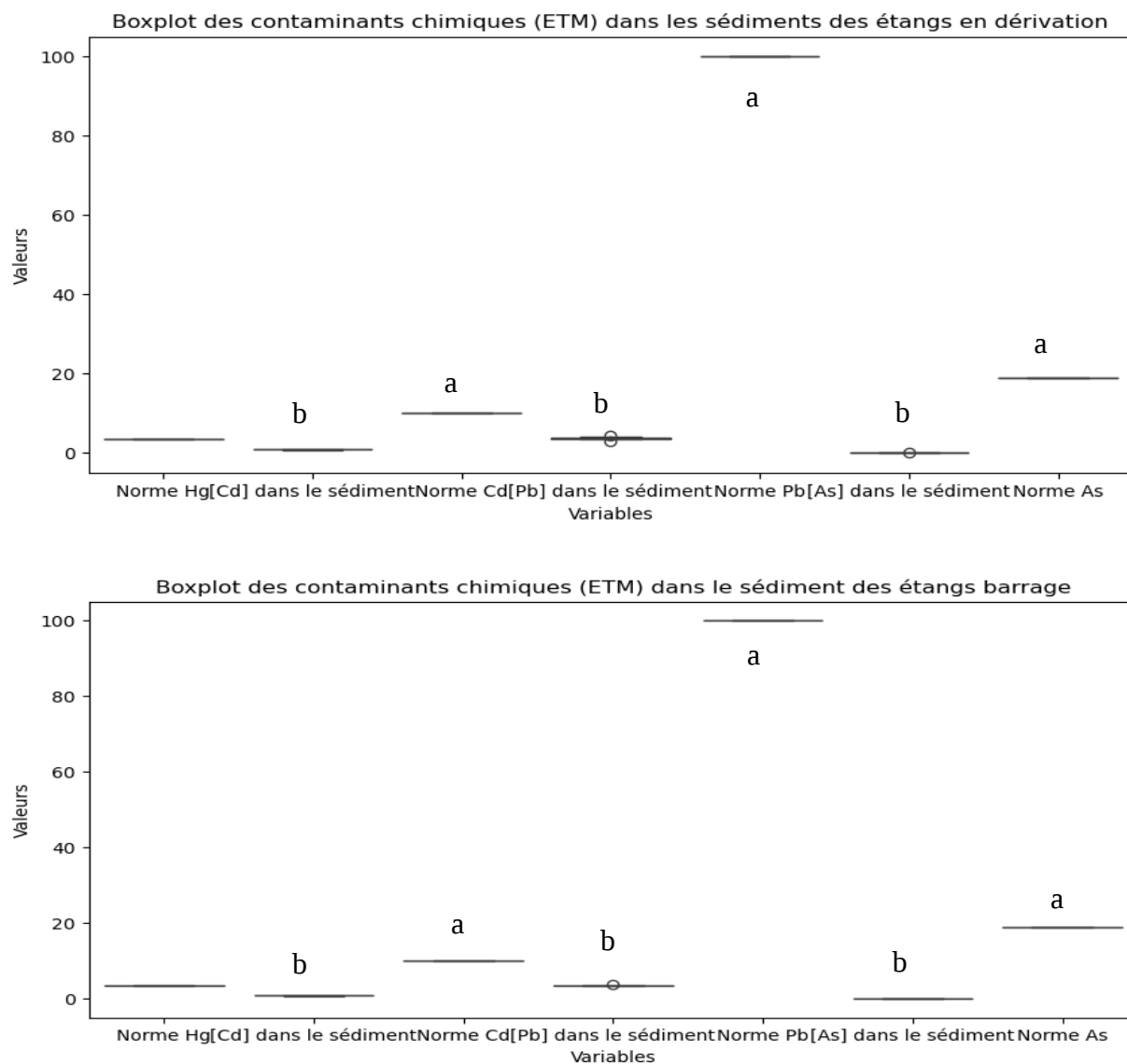


Figure 26: Box plot montrant la différence entre les teneurs moyennes des ETM des sédiments et les normes en fonction des types d'étangs

Les box plots affectés de la même lettre par élément chimique sont statistiquement identiques au seuil de 5 %

### 1.3. Facteurs d'accumulation des ETM dans le poisson tilapia, l'eau des étangs et des sédiments des étangs piscicoles

Les Facteurs de Bioconcentration (FBC) des ETM des poissons, des eaux et des sédiments des étangs piscicoles sont présentés dans le tableau XXIX. Les facteurs de bioconcentration d'une valeur de zéro ont été observées pour le Mercure et l'arsenic des eaux et des sédiments dans les deux types d'étangs. Pour le cadmium seuls les étangs en dérivation ont présenté des valeurs supérieures à 1 pour les sédiments et les eaux d'étangs. Quant au plomb, les Facteurs de Bioconcentrations des ETM des eaux des étangs (FBCe) sont supérieurs à 1 dans les deux types d'étangs.

Tableau XXIX : Facteurs de Bioconcentration des ETM dans le poisson tilapia par rapport à l'eau des étangs et aux sédiments

| Poissons tilapia                      |      | Mercure | Cadmium | Plomb | Arsenic |
|---------------------------------------|------|---------|---------|-------|---------|
| Tilapia issu des étangs en dérivation | FBCs | 0,000   | 2,333   | 0,120 | 0,000   |
|                                       | FBCe | 0,000   | 4,667   | 6,800 | 0,000   |
| Tilapia issu des étangs Barrage       | FBCs | 0,000   | 0,200   | 0,067 | 0,000   |
|                                       | FBCe | 0,000   | 0,875   | 4,400 | 0,000   |

FBCe : facteurs de bioconcentrations par rapport aux ETM de l'eau ; FBCs : facteurs de bioconcentrations par rapport aux ETM des sédiments

### 1.4. Corrélations entre les Eléments Traces Métalliques du tilapia, l'eau des étangs et des sédiments

La corrélation entre les différents Elément Traces Métalliques du tilapia, de l'eau et des sédiments est présentée dans la figure 27. Les résultats des analyses ont montré de façon générale, des corrélations modérées entre les ETM des matrices étudiées. Ces corrélations étaient toutes liées au cadmium. En effet, une forte corrélation positive a été observée entre le cadmium de l'eau et celui du tilapia. Des corrélations négatives ont été observées entre le cadmium des sédiments et le plomb et le cadmium des poissons. Enfin, une forte corrélation négative a également été observée entre le cadmium des sédiments et le mercure des eaux.

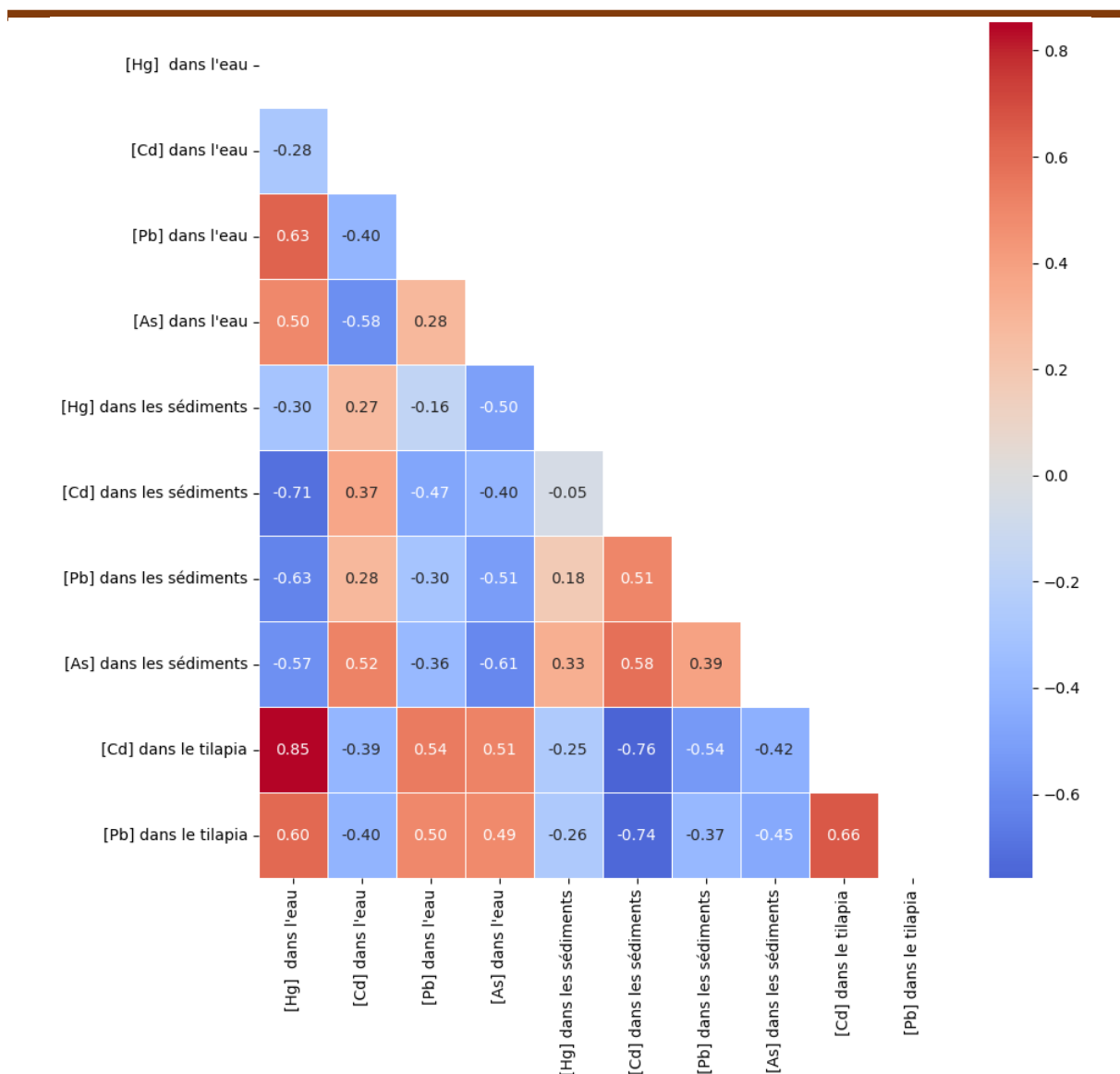


Figure 27 : Matrice de corrélation des éléments traces métalliques du tilapia, des eaux des étangs et des sédiments

### 1.5. Teneurs moyennes des résidus de pesticides dans le tilapia

Neuf résidus appartenant à trois grandes familles des résidus de pesticides ont été identifiés dans le tilapia. Il s'agit du cyanazine (triazine), du métamitron de la famille des triazinone et des dérivées de l'urée dont le fénuron, la crimidine, le métoxuron, le monuron, le méthabenzthiazuron, le chlortoluron et le monolinuron. Ces différents résidus étaient à de faibles quantités dans le poisson. Ces résidus étaient présents avec des teneurs comprises entre 0,001 mg/kg et 0,047 mg/kg. La plus forte valeur a été observée au niveau du métamitron dans les étangs en dérivation. Les tilapia issus des étangs en dérivation concentraient plus de résidus que ceux issus des étangs barrages. Les teneurs moyennes des résidus de pesticides dans le tilapia sont regroupées dans le Tableau XXX.

Tableau XXX: Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans le tilapia issu des étangs piscicoles

| Familles de pesticides   | Pesticides            | PED 1 | PED 2 | PED 3 | PED 4 | PED 5 | PED 6 | PED 7 | PED 8 | PEB 1 | PEB 2 | PEB 3 | PEB 4 | PEB 5  | PE B6 | PEB 7 | PEB 8 |
|--------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| <b>TRIAZINE</b>          | Désisopropylatratzine | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Désethylatrazine      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Simazine              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Cyanazine             | 0,003 | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0,003 | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Atrazine              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Propazine             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Terbuthylazine        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Prometryn             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Terbutryn             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
| <b>TRIAZINONE</b>        | Métamitron            | 0     | 0     | 0     | 0,047 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,007 | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Hexazinone            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Metribuzin            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
| <b>DERIVES DE L'UREE</b> | Fénuron               | 0     | 0     | 0     | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Crimidine             | 0,002 | 0,002 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,002 | 0,002 | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Métoxuron             | 0     | 0     | 0     | 0,006 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Monuron               | 0     | 0     | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Méthabenzthiazuron    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,0012 | 0     | 0     | 0     |
|                          | Chlortoluron          | 0,001 | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0,001 | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
|                          | Monolinuron           | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0,003 | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0      | 0,003 | 0,001 | 0     |
|                          | Isoproturon           | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |

PED : Poisson des étangs en dérivation ; PEB : Poisson des étangs barrage

Tableau XXX: Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans le tilapia issu des étangs piscicoles (Suite)

| Familles de pesticides       | Pesticides       | PED<br>1 | PED<br>2 | PED<br>3 | PED<br>4 | PED<br>5 | PED<br>6 | PED<br>7 | PED<br>8 | PEB<br>1 | PEB<br>2 | PEB<br>3 | PEB<br>4 | PEB<br>5 | PE<br>B6 | PEB<br>7 | PEB<br>8 |
|------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                              | Diuron           | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Métobromuron     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Buturon          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Linuron          | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <b>CHLORO-<br/>ACETAMIDE</b> | Métazachlor      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Métolachlor      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <b>CARBAMATE</b>             | Aldicarb         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Chlorpropham     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Parathion-méthyl | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Chlorfenvinphos  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Parathion-éthyl  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|                              | Vinclozolin      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

PED : Poisson des étangs en dérivation ; PEB : Poisson des étangs barrage

#### **1.6. Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles**

Vingt-cinq résidus de pesticides ont été identifiés dans l'eau des étangs piscicoles. Ces différents résidus étaient présents à de faibles quantités. Cependant, les eaux des étangs barrages renfermaient plus de résidus que celles issues des étangs en dérivation. Ces différents résidus étaient présents avec des teneurs comprises entre 0,0007 mg/L et 0,006 mg/L. La plus forte teneur a été observée au niveau des résidus de méthabenzthiazuron dans les étangs en dérivation. Les teneurs moyennes des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles sont regroupées dans le Tableau XXXI.

#### **1.7. Teneurs moyennes des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs piscicoles**

Vingt-quatre résidus de pesticides ont été identifiés dans les sédiments des étangs piscicoles. Ces résidus appartiennent aux sept familles étudiées. Ce sont, les familles des triazine, des triazinones, des dérivées de l'urée, des chloroacetamides, des carbamates, des organophosphorés et des dicarboximides. Ces différents résidus étaient présents avec des quantités comprises entre 0,0009 mg/kg et 0,6211 mg/kg. La plus forte teneur est observée au niveau des résidus de monuron. Cependant, les sédiments des étangs barrages renfermaient plus de résidus que ceux des étangs en dérivation. Les teneurs moyennes de résidus de pesticides dans les sédiments des étangs sont consignées dans le Tableau XXXII.

Tableau XXXI: Teneurs moyennes en mg/L des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles

| Pesticides            | EED1   | EED2   | EED3   | EED4  | EED5   | EED6 | EED7   | EED8   | EEB1   | EEB2   | EEB3   | EEB4   | EEB5   | EEB6   | EEB7 | EEB8 |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|
| Désisopropylatratzine | 0      | 0      | 0      | 0     | 0,001  | 0    | 0      | 0,001  | 0,0013 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Déséthylatrazine      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0,0013 | 0    | 0      | 0,002  | 0,0022 | 0      | 0      | 0,0014 | 0,0023 | 0      | 0    | 0    |
| Simazine              | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0,0025 | 0,0057 | 0,0021 | 0,0027 | 0,0032 | 0      | 0    | 0    |
| Cyanazine             | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0,0009 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Atrazine              | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0,0034 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Propazine             | 0      | 0,0019 | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Terbutylazine         | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0,0007 | 0      | 0,0037 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Prometryn             | 0      | 0      | 0,0015 | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0018 | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Terbutryn             | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0,0024 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Métamitron            | 0,0028 | 0,011  | 0,0019 | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,003  | 0      | 0,0049 | 0,0015 | 0    | 0    |
| Hexazinone            | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Metribuzin            | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Fénuron               | 0      | 0,0023 | 0,0022 | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0,0032 | 0,0023 | 0,0069 | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Crimidine             | 0      | 0,0018 | 0,0042 | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Métoxuron             | 0      | 0      | 0,0016 | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Monuron               | 0      | 0      | 0,0012 | 0     | 0,0023 | 0    | 0,001  | 0,0011 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Méthabenzthiazuron    | 0      | 0      | 0      | 0,006 | 0      | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0011 | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Chlortoluron          | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0,0011 | 0,002  | 0      | 0      | 0      | 0,0034 | 0,0056 | 0      | 0    | 0    |
| Monolinuron           | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0    | 0      | 0      | 0,0013 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0    |

ED : Etangs en Dérivation ; EB ; Etangs Barrage

Tableau XXXI : Teneurs moyennes en mg/L des résidus de pesticides dans les eaux des étangs piscicoles (Suite)

| Pesticides       | EED1   | EED2   | EED3   | EED4 | EED5   | EED6 | EED7   | EED8 | EEB1   | EEB2 | EEB3   | EEB4   | EEB5 | EEB6   | EEB7 | EEB8 |
|------------------|--------|--------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|------|--------|------|------|
| Isoproturon      | 0,0034 | 0      | 0      | 0    | 0,0045 | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0,0012 | 0    | 0    |
| Diuron           | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Métobromuron     | 0      | 0      | 0,0041 | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Buturon          | 0      | 0      | 0,0038 | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0,0033 | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Linuron          | 0      | 0,0012 | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Métazachlor      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Métolachlor      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Aldicarb         | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0,0012 | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Chlorpropham     | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0,0022 | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Parathion-méthyl | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0,0023 | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Chlorfenvinphos  | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Parathion-éthyl  | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0,0013 | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |
| Vinclozolin      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    |

EED : Eau des étangs en dérivation ; EEB : Eau des étangs barrage

Tableau XXXII: Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs piscicoles

| Familles de pesticides | Pesticides           | SED1 | SED2   | SED3   | SED4   | SED5   | SED6   | SED7   | SED8  | SEB1  | SEB2   | SEB3   | SEB4   | SEB5   | SEB6   | SEB7   | SEB8   |
|------------------------|----------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TRIAZINE               | Désisopropylatrazine | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0009 | 0,002 | 0,004 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0029 | 0      | 0      |
|                        | Déséthylatrazine     | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0001 | 0      |
|                        | Simazine             | 0    | 0      | 0      | 0,003  | 0,0021 | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0037 | 0,0002 | 0,0021 |
|                        | Cyanazine            | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0,0246 | 0,0032 | 0      | 0      |
|                        | Atrazine             | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Propazine            | 0    | 0,0763 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Terbuthylazine       | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0023 | 0      | 0     | 0     | 0      | 0,0021 | 0,0132 | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Prometryn            | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0,0024 | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Terbutryn            | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,002  |
| TRIAZINONE             | Métamitron           | 0    | 0,0972 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0,011 | 0,0123 | 0,089  | 0,014  | 0,0253 | 0      | 0      | 0      |
|                        | Hexazinone           | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Metribuzin           | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| DERIVES DE L'UREE      | Fénuron              | 0    | 0      | 0,024  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0015 | 0      |
|                        | Métoxuron            | 0    | 0      | 0,0152 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Monuron              | 0    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,6211 | 0,024  | 0,002 | 0,001 | 0      | 0,0054 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|                        | Méthabenzthiazuron   | 0    | 0,0362 | 0      | 0,0073 | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

SED : Sédiment des étangs en dérivation ; SEB : Sédiment des étangs barrage

Tableau XXXII : Teneurs moyennes en mg/kg des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs piscicoles (Suite)

| Familles de pesticides   | Pesticides       | SED 1 | SED2   | SED3 | SED4  | SED5   | SED6   | SED7 | SED8  | SEB1  | SEB2   | SEB3   | SEB4   | SEB5   | SEB6   | SEB7  | SEB8   |
|--------------------------|------------------|-------|--------|------|-------|--------|--------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| <b>DERIVES DE L'UREE</b> | Chlortoluron     | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,0024 | 0,003 | 0,0022 |
|                          | Monolinuron      | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0,001 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Isoproturon      | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0,0012 | 0,0102 | 0,0186 | 0      | 0     | 0      |
|                          | Diuron           | 0     | 0      | 0    | 0     | 0,002  | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Métabromuron     | 0     | 0,0712 | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Buturon          | 0     | 0      | 0    | 0     | 0,001  | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Linuron          | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
| <b>CHLORO-ACETAMIDE</b>  | Métazachlor      | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0,0012 | 0    | 0     | 0     | 0      | 0,0012 | 0,0052 | 0      | 0      | 0     | 0,004  |
|                          | Métolachlor      | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
| <b>CARBAMATE</b>         | Aldicarb         | 0     | 0      | 0    | 0     | 0,0033 | 0      | 0    | 0     | 0     | 0,0015 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Chlorpropham     | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
| <b>ORGANO-PHOSPHORE</b>  | Parathion-méthyl | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0,0024 | 0    | 0     | 0     | 0      | 0,0076 | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Chlorfenvinphos  | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0,023 | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
|                          | Parathion-éthyl  | 0     | 0      | 0    | 0     | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |
| <b>DICARBOXYMIDES</b>    | Vinclozolin      | 0     | 0      | 0    | 0,003 | 0      | 0      | 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |

SED : Sédiment des étangs en dérivation ; SEB : Sédiment des étangs barrage

### 1.7.1. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans le tilapia aux normes

Les teneurs des résidus de pesticides dans le tilapia ont été comparées aux normes en vigueur. Les analyses statistiques ont montré une différence significative entre les teneurs moyennes des résidus de pesticides dans le tilapia et les normes préconisées par L'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA, 2011 ; EFSA, 2013 ; EFSA, 2016). Les différentes teneurs étaient toutes inférieures aux normes ( $p < 0,05$ ). Ces normes étaient de 0,05 mg/kg pour le métamitron et la crimidine et de 0,01 mg/kg pour les autres résidus. Cette différence était aussi bien marquée dans le tilapia des deux types d'étangs. Cette comparaison est illustrée par la Figure 28.

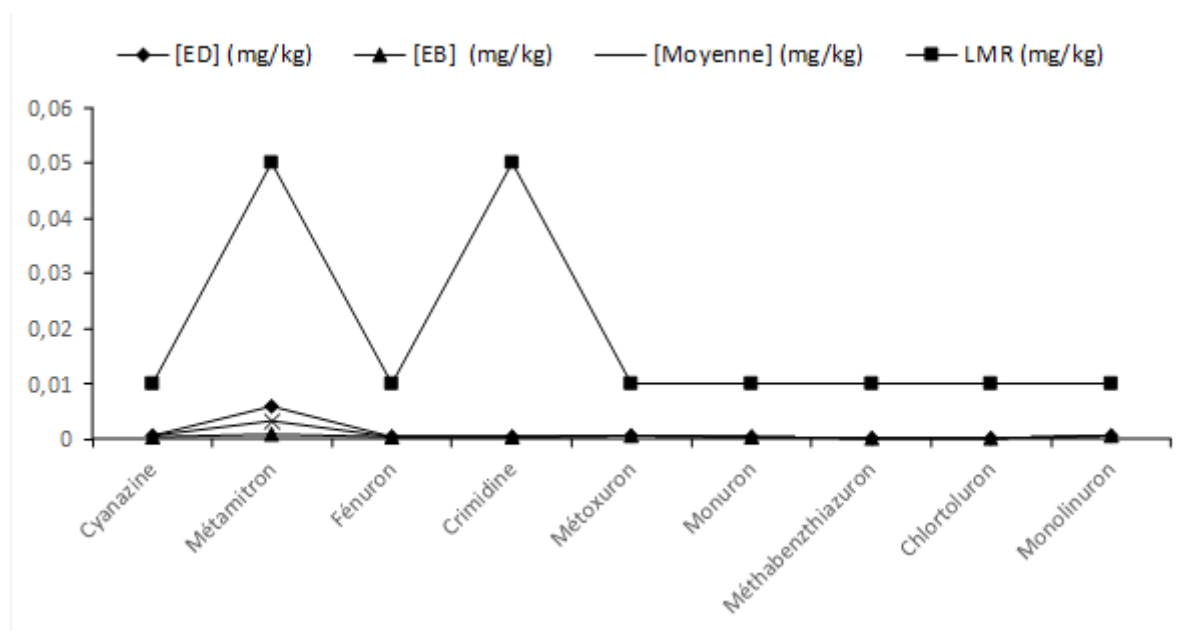


Figure 28: Comparaison des teneurs ETM dans le tilapia aux normes

ED : Etangs en dérivation ; EB : Etangs barrage ; LMR : Limite Maximale Résiduelle

### 1.7.2. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans les eaux des étangs aux normes

La Figure 29 présente la comparaison entre les teneurs moyennes de résidus de pesticides des eaux des étangs et la norme. Les analyses statistiques ont montré une différence significative au seuil de 5 % entre ces teneurs et la norme qui est de 0,01 mg/L selon l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA, 2016). Les teneurs moyennes de ces résidus étaient toutes inférieures à la norme. Cette différence est observée dans les deux types d'étangs étudiés.

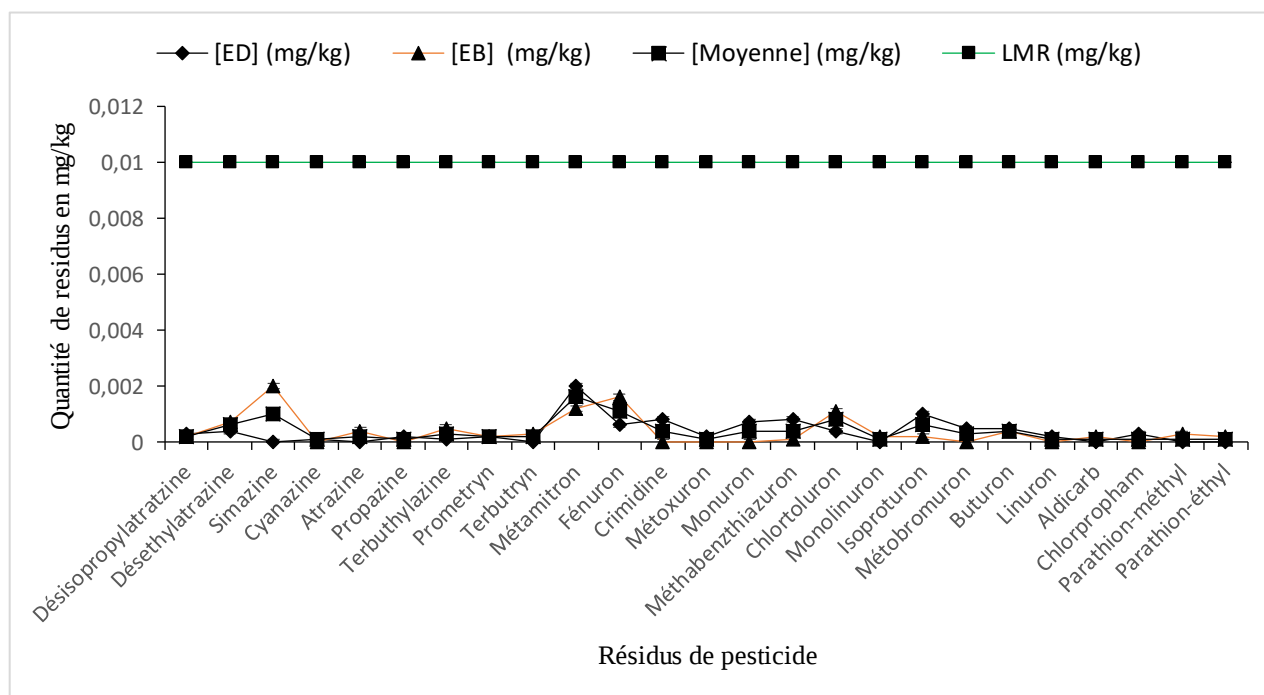


Figure 29: Comparaison des teneurs de résidus pesticides de l'eau d'étangs aux normes

ED : Etangs en dérivation ; EB : Etangs barrage ; LMR : Limite Maximale Résiduelle

### 1.7.3. Comparaison des teneurs des résidus de pesticides dans les sédiments avec les normes

La comparaison entre les teneurs des résidus de pesticides dans les sédiments des étangs et leurs normes sont présentées dans la figure 30. Les analyses statistiques ont montré des différences statistiques ( $p < 0,05$ ) entre les teneurs de résidus et la norme de 0,01 mg/L selon l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA, 2016). Sur les 24 résidus identifiés dans les sédiments, le monuron, le métamitron, le propazine et le métobromuron issus des étangs en dérivation avaient des teneurs supérieures à la norme. Quant au sédiment des étangs barrages seul le monuron avait une teneur supérieure à la norme.

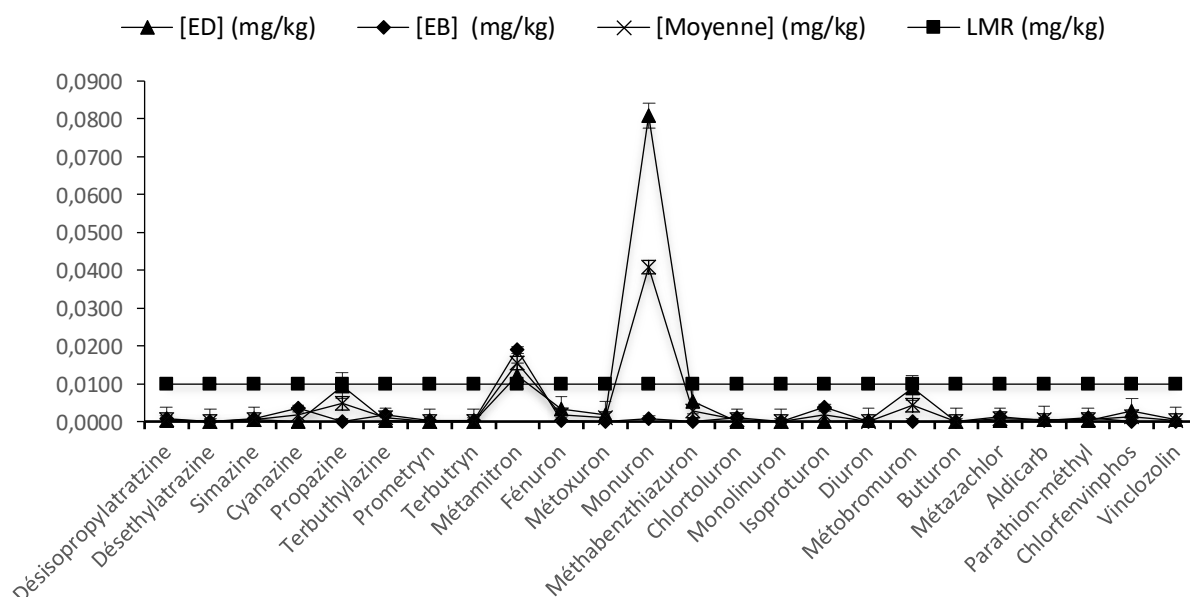


Figure 30 : Comparaison des teneurs de résidus pesticides des sédiments aux normes  
ED : Etangs en dérivation ; EB : Etangs barrage ; LMR : Limite Maximale Résiduelle

### 1.8. Facteurs de Bioconcentration des résidus de pesticides environnementaux dans les poissons

Les facteurs de bioconcentration des résidus de pesticides dans le tilapia sont présentés dans le tableau XXXIII. Ces facteurs avaient des valeurs inférieures à 1 pour les polluants des sédiments excepté les résidus de monolinuron et de fenuron. Quant à l'eau des étangs, des valeurs supérieures à 1 ont été observées pour les résidus de cyanazine, de métamitron, de métoxauron et de crimidine dans l'eau des étangs en dérivation. Pour les eaux des étangs barrages, seul le méthabenzthiazuron avait un facteur de bioconcentration de 1,5. Les plus fortes valeurs de 7,5 et 5,12 de bioconcentration ont été observées respectivement pour le cyanazine dans les eaux d'étangs en dérivation et le monolinuron des sédiments des étangs barrages.

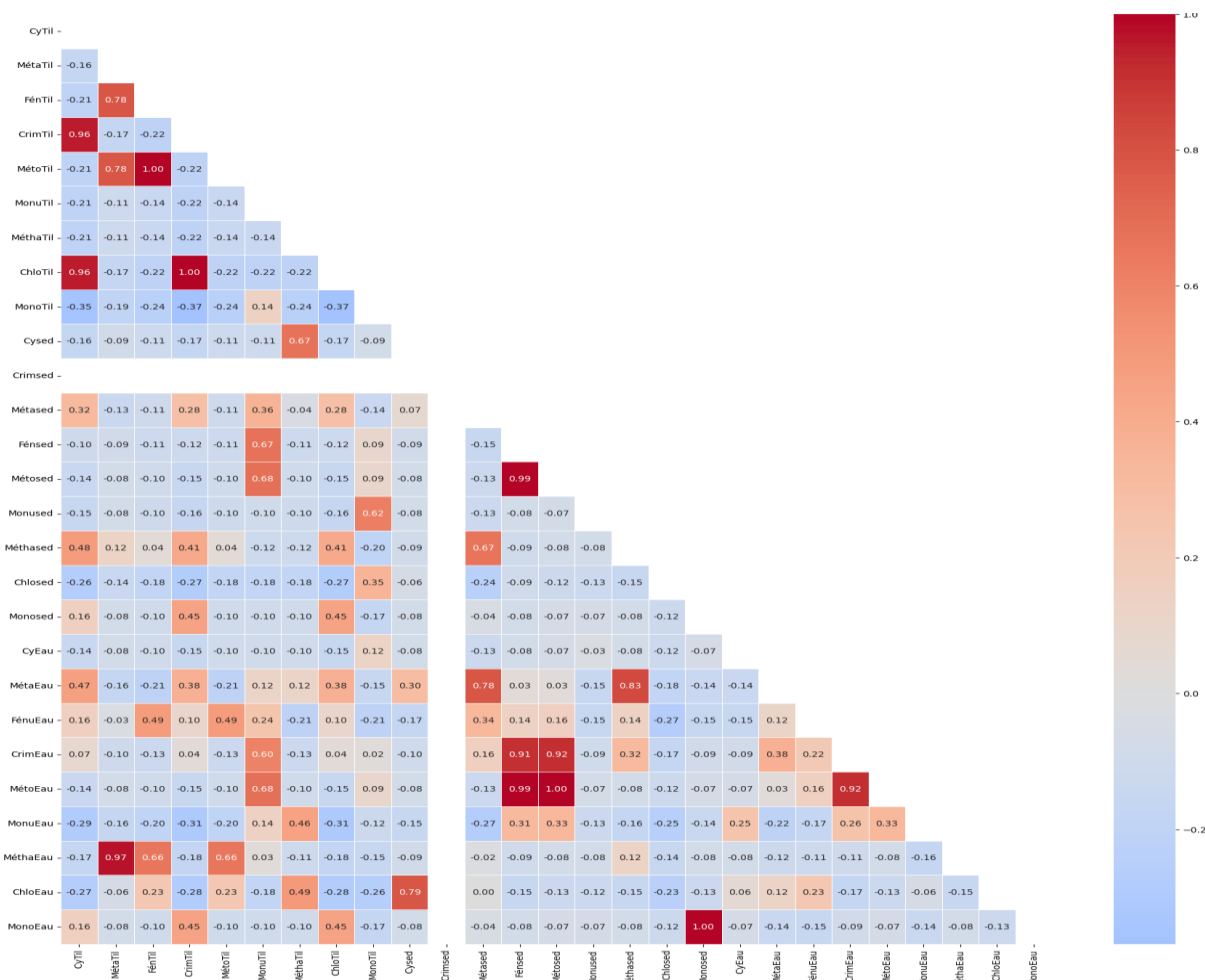
Tableau XXXIII : Facteurs de Bioconcentration des résidus de pesticides dans les poissons

|                    | ED eau | ED sédiment | EB eau | EB sédiment |
|--------------------|--------|-------------|--------|-------------|
| Cyanazine          | 7,5    | -           | -      | 0,16        |
| Métamitron         | 2,94   | 0,48        | 0,73   | 0,05        |
| Fénuron            | 0,63   | 0,12        | 0,24   | 2,02        |
| Crimidine          | 0,63   | -           | -      | -           |
| Métoxauron         | 3,75   | 0,39        | -      | -           |
| Monuron            | 0,54   | 0           | -      | 0,46        |
| Méthabenzthiazuron | 0,19   | 0,03        | 1,5    | -           |
| Chlortoluron       | 0,63   | -           | -      | 0,26        |
| Monolinuron        | -      | -           | -      | 5,12        |

ED : étangs en dérivation ; EB : étangs barrage

### 1.9. Corrélations entre les résidus de pesticides du tilapia, des eaux des étangs et des sédiments piscicoles

La matrice de corrélation des résidus de pesticides des eaux, des sédiments et le tilapia issus des étangs piscicoles est présentée dans la Figure 31. Une forte corrélation de 0,97 est notée entre les résidus de méthabenzthiazuron contenus dans le tilapia et ceux contenus dans les eaux des étangs. Des corrélations modérées de 0,72 ont été observées entre le même résidus dans le tilapia et le fénuron, le métoxuron et le monuron dans les eaux des étangs. Quant aux sédiments, seuls les résidus de monuron étaient fortement corrélés aux résidus de fénuron et de métoxuron contenus dans le tilapia. Les résidus de monolinuron, métoxuron et métoxuron contenus dans les eaux étaient fortement corrélés aux mêmes résidus dans les sédiments. Enfin les résidus de fénuron du tilapia avaient de fortes corrélations positives avec les résidus de métamitron, de métoxuron crimidine et le chlortoluron contenus dans le tilapia.



### 1.10. Corrélations entre les contaminants chimiques et biologiques du Tilapia, des eaux des étangs et des sédiments

La matrice de corrélation entre les ETM, les résidus de pesticides et les bactéries est présentée dans la figure 32. L'analyse de la figure a révélé que les souches de *S. aureus* et *Enterococcus* sp isolées des viscères de tilapia, étaient corrélées aux résidus de pesticides. *Staphylococcus aureus* était fortement corrélée aux résidus de cyanazine, de crimidine et de chlortoluron. Quant à *Enterococcus* sp une forte corrélation a été observée avec les résidus de monuron. Les teneurs d'ETM dans le tilapia étaient faiblement corrélés aux bactéries du tilapia.

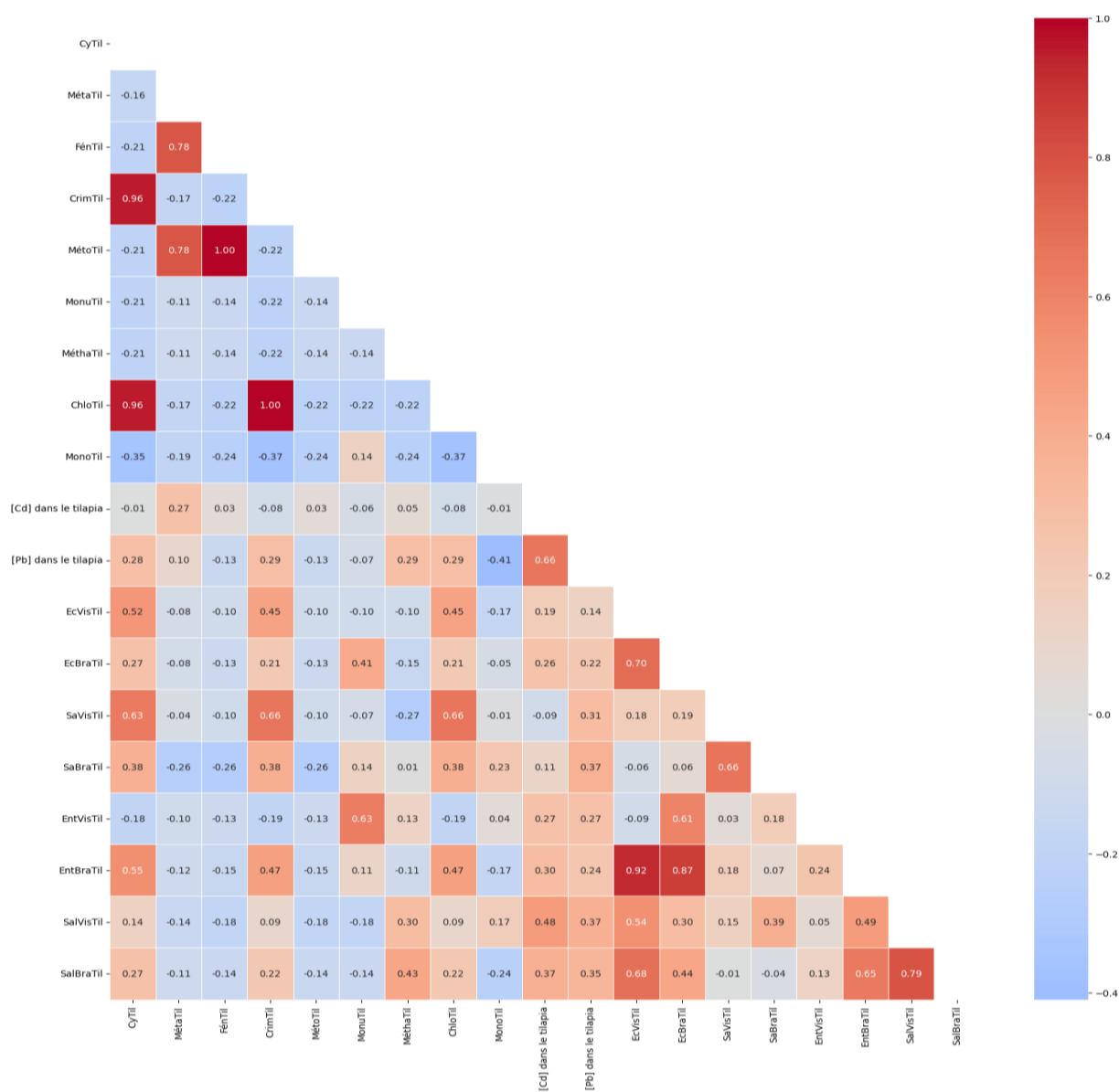


Figure 32 : Matrice de corrélation des contaminants chimiques et biologiques du tilapia (cy : Cyanazine ; crim : Crimidine ; cho : Chlortoluron)

## 2. DISCUSSION

La contamination chimique par les ETM et les résidus de pesticides a été recherchée dans le tilapia, les eaux et les sédiments des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra. La présence des ETM dans le tilapia, les eaux des étangs et les sédiments piscicoles est une réalité quand bien même le mercure et l'arsenic n'ont pas été détectés dans le tilapia. La présence de cadmium et de plomb, même à de très faibles quantités dans le tilapia, soulève des préoccupations. La présence du cadmium et de plomb pourrait s'expliquer par la persistance de ces éléments dans l'environnement du poisson ; cette idée est soutenue par N'Doua *et al.* (2023) lors de leurs études sur la recherche des ETM dans quatre espèces de poissons consommées par les familles de pêcheurs de Jacqueville (Côte d'Ivoire). Le tilapia issu des étangs en dérivation a présenté des teneurs élevées en ETM qui pourrait indiquer une pollution diffuse dans ce type d'étangs. Ces données sont corroborées par les travaux de N'Doua *et al.* (2023). Ces auteurs ont observé des concentrations similaires de cadmium dans des poissons provenant de milieux aquatiques influencés par l'agriculture et l'urbanisation comme le cas dans la présente étude. Au Congo et au Togo, des résultats plus préoccupants avaient été obtenus respectivement par Nakweti *et al.* (2021) et Adje *et al.* (2021). Ces derniers ont obtenu des teneurs très élevées dans le tilapia et d'autres espèces voisines, *Claria gariepinus* et *Chrysichthys nigrodigitatu*. La présence du cadmium et du plomb présenterait un risque potentiel pour la santé des consommateurs, car le cadmium est associé à des effets néfastes sur les reins et le système osseux (Demaegdt & Cheyns, 2024). Le plomb quant à lui peut entraîner des troubles neurologiques, particulièrement chez les enfants (Lanphear *et al.*, 2005).

La détection des quatre ETM dans les sédiments des étangs piscicoles même à des faibles doses est préoccupante. Le mercure, le cadmium et le plomb à faibles doses dans ces étangs peuvent s'accumuler dans les ressources piscicoles, comme l'ont montré les travaux de Nguyen *et al.* (2022). La source de ces ETM serait anthropique telles que les activités industrielles ou l'utilisation de pesticides dans les activités agricoles. Le plomb est reconnu pour ses effets néfastes sur la santé humaine et animale (Bouchard *et al.*, 2018). Les teneurs de mercure étaient plus élevées dans les eaux des étangs barrages que dans les sédiments des mêmes étangs. Ceci pourrait indiquer une dynamique de bioaccumulation ou des apports récents de mercure dans ces étangs. Des études antérieures, telles que celles de Adje *et al.* (2021), avaient mis en évidence que les eaux pouvaient souvent être des réservoirs temporaires de contaminants avant leur sédimentation.

Une différence significative entre les teneurs en ETM détectées dans le tilapia, les sédiments et les eaux a été établie. La consommation régulière du tilapia ne serait pas sans danger, car son exposition chronique à ces différents ETM pourrait entraîner des troubles neurologiques, des problèmes de comportement et des déficits d'apprentissage chez les consommateurs (Lanphear *et al.*, 2018).

Les concentrations en ETM variaient selon le type d'étang. Dans les étangs en dérivation, l'ordre croissant des concentrations est le suivant : [cadmium] < [plomb] < [mercure] = [arsenic]. Bien que le cadmium soit présent à des niveaux inférieurs aux normes, le plomb s'avère être l'élément le plus préoccupant dans l'environnement piscicole dans la zone d'étude. Pour les étangs barrages, l'ordre précédent est inversé. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la nature des activités humaines environnantes de ces étangs, telles que l'agriculture, l'industrie, la gestion des déchets, les activités minières proches des cours d'eau, qui pourraient influencer la contamination des eaux comme l'ont démontré Zhang *et al.* (2021). D'autres travaux ont révélé que les étangs en dérivation sont plus vulnérables à la pollution en raison d'un drainage insuffisant ou d'une accumulation de contaminants provenant des terres environnantes (Akan *et al.*, 2012). En revanche, les étangs barrages, qui pourraient bénéficier d'une meilleure circulation d'eau, semblent présenter des niveaux de contamination plus faibles comme c'est le cas dans la présente étude.

Des facteurs de bioaccumulation des contaminants concernant le cadmium ont été observés dans le tilapia. Des facteurs étaient supérieurs à 1, indiquant une bioaccumulation notable. Des travaux similaires de Nguyen *et al.* (2020) ont également rapporté des niveaux de cadmium élevés dans les poissons des zones agricoles. Ces résultats suggèrent que les activités humaines peuvent contribuer à la contamination des sédiments et à l'accumulation du contaminant dans la chaîne alimentaire. Les facteurs de bioaccumulation pour le plomb étaient supérieurs à 1 dans les deux types d'étangs. Ce résultat est similaire à celui de N'Doua *et al.* (2023), qui ont trouvé des niveaux de plomb préoccupants dans des échantillons de poissons provenant de zones urbaines ou industrielles. Certains des étangs piscicoles en zone urbaine ou péri-urbaine pourraient justifier donc la présence du plomb dans nos matrices.

La corrélation entre des éléments traces métalliques des eaux, des sédiments et le tilapia était complexe. Le cadmium était corrélé significativement avec le mercure et le plomb dans les eaux des étangs. Cela indiquerait de probables sources de contamination communes ou des mécanismes d'accumulation similaires pour ces ETM (Bouchard *et al.*, 2018). En revanche,

les fortes corrélations négatives observées entre le cadmium dans les sédiments et dans les eaux des étangs suggèreraient que le cadmium est majoritairement adsorbé dans les sédiments, limitant ainsi sa disponibilité dans la colonne d'eau. Ce phénomène réduirait la toxicité immédiate du cadmium, mais soulève des questions sur la bioaccumulation dans le tilapia et les autres ressources aquatiques (Lefèvre & Martin, 2019 ; Garcia *et al.*, 2021).

Neuf substances de résidus de pesticides ont été retrouvées dans le tilapia, soulevant des préoccupations quant à la qualité des écosystèmes aquatiques. La cyanazine et le métamitron, ainsi que des dérivés de l'urée ont été détectés. La présence de ces pesticides s'expliquerait par l'usage abusif et irrationnel des pesticides par les pisciculteurs lors des vides sanitaires. Des phénomènes naturels tel que ruissellement peuvent entraîner les résidus des sols environnants dans les étangs piscicoles. Les teneurs étaient inférieures aux normes établies. Cependant, il est crucial de contextualiser ces données par rapport à d'autres études. La présence de ces substances soulève des questions sur l'accumulation et les effets synergiques potentiels sur la faune aquatique et par extension, sur la chaîne alimentaire humaine. En somme, bien que les résultats de cette étude indiquent un respect des normes de sécurité alimentaire, une approche intégrée qui considère l'impact cumulatif de ces substances sur l'environnement et la santé publique est essentielle pour garantir la durabilité des ressources aquatiques. Des recherches antérieures, comme celles de Baker *et al.* (2021), montrent que des concentrations même faibles de certains pesticides peuvent avoir des effets néfastes sur la reproduction et le développement des poissons. Une étude menée en France par Amouroux *et al.* (2015) a révélé des teneurs de résidus de pesticides dans des poissons d'étangs similaires avec une prévalence plus élevée de substances comme l'atrazine.

La très forte corrélation de 0,97 observée entre les résidus de méthabenzthiazuron dans le tilapia et ceux présents dans les eaux des étangs indiqueraient que ce pesticide est non seulement présent dans l'environnement aquatique, mais qu'il est également bioaccumulé par le poisson. Des résultats similaires ont été observés par Dupont *et al.* (2020) dans des études sur des étangs en France. Ces derniers ont montré que les pesticides dans l'eau étaient également corrélés à des concentrations alarmantes dans les poissons. Aussi, les fortes corrélations observées entre les résidus de méthabenzthiazuron dans le tilapia et ceux du fénuron, du métoxuron et du monuron dans les eaux indiqueraient une interaction complexe entre ces différents pesticides. Cela pourrait être dû à des pratiques agricoles intensives dans la région d'étude. Concernant les sédiments, les résidus de monuron montrent une forte corrélation positive avec ceux de fénuron et Métoxuron dans le tilapia. Cela montre que les

sédiments jouent un rôle crucial dans la rétention de ces pesticides. Ils servent donc de réservoirs et peuvent libérer des contaminants dans l'eau et les ressources aquatiques. Garcia *et al.* (2021) ont affirmé que les sédiments peuvent agir comme des vecteurs de contamination. Les résidus de fénuron dans le tilapia affichaient également de fortes corrélations positives avec d'autres résidus comme le métamitron, le métoxuron, la crimidine et le chlortoluron. Ces résultats soulignent l'importance d'une approche intégrée pour la gestion des pesticides. Selon Lefèvre & Martin (2019) la présence de multiples contaminants peut avoir des effets synergiques sur la santé des écosystèmes.

La corrélation entre les contaminants chimiques (Eléments Traces Métalliques et les résidus de pesticides) et les pathogènes microbiens dans le tilapia était significative, en particulier entre les charges de *S. aureus* et de *Enterococcus* sp. et les résidus de pesticides. Plus spécifiquement, *S. aureus* a montré une forte corrélation positive avec les résidus de cyanazine, crimidine et chlortoluron. Ces résultats pourraient indiquer que ces pesticides favorisent la prolifération de ce pathogène dans le tilapia. Ce phénomène corrobore les travaux de Baker *et al.* (2021) qui ont démontré que certains pesticides peuvent influencer la flore microbienne, augmentant ainsi la susceptibilité des poissons à des contaminations. De même, la forte corrélation entre *Enterococcus* sp et les résidus de monuron indiquerait que l'exposition à ce pesticide pourrait également jouer un rôle dans la contamination microbienne du tilapia. Cela suscite également des préoccupations quant aux effets synergiques des contaminants chimiques et microbiens sur la santé humaine. Les teneurs en ETM dans le tilapia présentaient une faible corrélation avec les charges bactériennes. Ces corrélations pourraient indiquer que les ETM n'affectent pas directement la charge bactérienne dans les tissus des poissons. Selon Lefèvre & Martin (2019), la bioaccumulation des métaux lourds n'entraîne pas nécessairement une augmentation des charges bactériennes, mais peut avoir d'autres impacts sur la santé des consommateurs.

### 3. CONCLUSION PARTIELLE

Les données présentées dans cette partie révèlent que le tilapia (*Oreochromis niloticus*), les eaux et les sédiments des différents types étangs de la région du Haut-Sassandra étaient contaminés par des agents chimiques, notamment les éléments traces métalliques et les résidus de pesticides. Ces contaminants étaient présents dans les étangs barrages et les étangs en dérivation. Cependant, les étangs en dérivation ont été plus vulnérables à la pollution chimique que les étangs barrages. Seul le cadmium et le plomb ont été détectés dans le tilapia.

---

Quant aux sédiments et les eaux d'étangs, les quatre éléments traces métalliques (le mercure, l'arsenic, le cadmium et le plomb) ont été détectés. Neuf résidus appartenant à trois grandes familles de pesticides (triazine, triazinone et dérivés de l'urée) ont été identifiés dans le tilapia. Dix-sept résidus de pesticides ont été identifiés dans l'eau des étangs piscicoles et vingt-deux dans les sédiments des étangs piscicoles. Ces contaminants chimiques étaient tous présent avec des teneurs inférieures aux normes de sécurité en vigueur. Les pesticides de certaines familles comme les dérivées de l'urée notamment le méthabenzthiazuron, le fénuron, le métoxuron et le monuron) étaient bioaccumulés dans le tilapia. Une corrélation existe entre les contaminants chimiques et les contaminants biologiques. Des teneurs souvent inférieures aux normes ne garantiraient pas une absence de risques à court et long terme. Une surveillance continue en une approche intégrée pour la gestion des contaminants chimiques (ETM et pesticides continue) dans l'écosystème des étangs piscicoles pourraient être menée afin de garantir la qualité sanitaire du poisson et la santé des consommateurs.

# **CONCLUSION GENERALE, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSION GENERALE

La présente étude a été conduite dans le but d'évaluer la contamination par de potentiels pathogènes bactériens et agents chimiques du poisson, des eaux et des sédiments des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra, dans un contexte de développement et de relance de la pisciculture en Côte d'Ivoire. Pour atteindre cet objectif, les principales caractéristiques des étangs piscicoles de la région du Haut-Sassandra et le profil de leurs producteurs ont été déterminés à travers une enquête. La pisciculture est une activité importante dans la région du Haut-Sassandra. Le poisson *Oreochromis niloticus* (tilapia) est l'espèce la plus produite. L'activité se pratique dans un environnement favorable dans les étangs barrages et les étangs en dérivation. Les systèmes de production sont soit extensif ou soit semi intensif. Les fermes sont dans des zones peri-urbaines et rurales et les détenteurs sont majoritairement des hommes avec un faible niveau scolaire. Les producteurs ont en général une autre activité financière connexe et d'autres activités sont même associés à la pisciculture.

La présence des contaminants microbiens pathogènes du tilapia, des eaux et des sédiments issus des étangs piscicoles, dont *E. coli*, *S. aureus*, *Enterococcus* sp. et *Salmonella* sp. a été avérée. Ces pathogènes microbiens étaient présents dans les deux types d'étangs. La caractérisation des gènes isolés du tilapia a été effectuée par une réaction de polymérisation en chaîne (PCR) et un antibiogramme par diffusion en milieu gélosé. Les gènes codants pour la Shiga toxine (*stX1* et *stX2*), les entérotoxines (*seA*, *seB*, *seC*, *seD* et *seE*) et la gélatinase (*gelE*) ont été identifiés. Aussi, ces souches présentaient des résistances aux antibiotiques, notamment les beta-lactamines, les tétracyclines, les quinolones et les aminosides. La présence de ces gènes de virulences et résistances montre que la consommation du tilapia n'est pas sans risque. Cependant, les paramètres physico-chimiques des eaux étudiées offriraient un environnement favorable à l'activité piscicole.

Des contaminants chimiques ont été recherchés par des méthodes chromatographiques dans le tilapia, les eaux et les sédiments des différents types étangs de la région du Haut-Sassandra. Ces agents chimiques, notamment les éléments traces métalliques et les résidus de pesticides étaient présents dans le poisson des deux types d'étangs. Les étangs en dérivation ont été plus vulnérables à la pollution chimique que les étangs barrages. Le mercure, l'arsenic, le cadmium et le plomb ont été détectés dans le tilapia, les eaux et les sédiments des étangs piscicoles. Neuf résidus de pesticides ont été identifiés dans le tilapia, vingt-cinq résidus dans les eaux et vingt-quatre dans les sédiments des étangs piscicoles.

Certains pesticides comme le méthabenzthiazuron, le fénuron, le métoxuron et le monuron étaient bioaccumulés dans le tilapia. Une corrélation a été établie entre les contaminants chimiques et les pathogènes biologiques. Des concentrations même souvent inférieures aux normes ne garantiraient pas une absence de risques à court et long terme quant à la consommation du poisson.

Ce travail est une ébauche de l'évaluation de la contamination du poisson, des eaux et des sédiments des étangs en vue d'une production durable de la pisciculture dans un contexte de développement et de relance de la pisciculture. Il contribue à une connaissance profonde de la pisciculture dans la région du Haut-Sassandra, une zone emblématique de la production aquacole. Ce travail fournit des indices cruciaux sur les contaminants qui pourraient compromettre les efforts du gouvernement et de tous les programmes pour la relance de la pisciculture si des mesures d'une gestion intégrée de la pisciculture ne sont pas prises. Il faut donc une bonne ressource de qualité pour la santé des populations.

### Perspectives

En guise de perspectives, il serait intéressant de :

- étendre cette étude sur toute l'étendue du territoire pour une évaluation générale de l'état sanitaire des produits de la pisciculture et leur environnement ;
- caractériser les microorganismes avec les nouvelles méthodes telles que le séquençage nouvelle génération pour prendre en compte plusieurs gènes de virulences et résistances ;
- rechercher d'autres résidus de pesticides tels que le glyphosate, L'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (ou 2,4-D).

### Recommandations

La pisciculture est un secteur stratégique pour la Côte d'Ivoire, favorisant la sécurité alimentaire et le développement économique. Son développement est essentiel pour répondre aux défis alimentaires et économiques du pays. Cependant, au regard des différentes contaminations des ressources aquacoles et leur environnement nous recommandons :

- aux pisciculteurs, la pratique de la pisciculture dans les étangs barrages ;
- aux consommateurs, l'observation des règles d'hygiène et bien cuire le poisson avant la consommation.

## REFERENCES

## REFERENCES

- Abbani S. & Benzid K. (2022). Contribution à l'étude de l'intégration de l'aquaculture à l'agriculture dans la région de Ouargla (Sud-d'Algérie). Mémoire de Master en Hydrobiologie marine et continentale, option: Aquaculture, Université Kasdi Merbah, Ouargla (Algerie), 51 p.
- Abdi G., Benabderrahmane R. & Benamara N.E. (2022). Isolement et identification d'*Enterobacter* sp. et l'étude de la résistance aux antibiotiques. Mémoire de Master en Science biologiques, option : Biologie Moléculaire des Micro-organismes, Université Freres Mentouri Constantine I (Algerie), 104 p.
- Abed F. & Beloufa F. (2019). Qualité nutritionnelle du tilapia rouge (*Oreochromis* sp) nourri par deux aliments expérimentaux. Mémoire de Master en Sciences de la Nature et de la Vie, option Hydrobiologie Marine et Continentale, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem (Algerie), 40 p.
- Aboya N., Kanga K.M-J. & Assielou E.S. (2020). Chaîne de valeur d'une ferme piscicole sur la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). *Revue Internationale de l'Innovation et de la Recherche Scientifique*, 50(1) : 59-70.
- Abozue A.C.N. (2022). Isolement et caractérisation phénotypique des microorganismes totaux de l'eau et du sol du site d'orpaillage de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). Mémoire de Master en Microbiologie, Université Jean LOROUGNON GUEDE (Daloa, Côte d'Ivoire), 64 p.
- Adingra A., Gore bi T., Ble M. & Dosso M. (2010). Evaluation de la charge bactérienne chez le tilapia *Oreochromis niloticus* (Linné 1758) vendus sur les marches d'Abidjan (côte d'ivoire). *Agronomie Africaine* 22(3) : 217-225.
- Adité A. (2007). Ecologie de *Heterotis niloticus* (Osteoglossiforme ; Osteoglossidae) du système fluvio-lacustre rivière Sô-Iac Hlan (Sud-Bénin) : Conservation et intérêt pour l'aquaculture. Thèse de Doctorat en Hydrobiologie & Ecologie Halieutique, Université d'Abomey-Calavi (Cotonou, Benin), 264 p.
- Adje K., Ouro-sama K., Solitoke H.D., Tanouayi G., Agbere S., Badassan T., Ahoudi H. & Gnandi K. (2021). Etat de la contamination en éléments traces des sédiments du lac du barrage hydroélectrique de nangbéto (Togo). *Environnement, Ingénierie & Développement*, 85 : 12-25.

- 
- Akan J.C., Salwa M., Bashir Y. & Victor O. (2012). Bioaccumulation of some heavy metals in fish samples from river benue in vinikilang, adamawa state, Nigeria. *American Journal of Analytical Chemistry*, 3 : 727-736.
- Al Ghonaim M.A., Abba A.A. & Al Nozha M. (2006). Endocarditis caused by *Pasteurella multocida*. *Annals of Saudi Medicine*, 26(2) : 147-149.
- Alain N., Martine G., Pierre L. & Renaud Q. (2007). Classification des pesticides à l'aide des cartes auto-organisatrices de Kohonen en vue du développement de normes de performance agro-environnementale atteignables (NPA) à l'échelle des bassins versants. Rapport, Centre Eau Terre et environnement, Institut National de recherche scientifique, 51p.
- Alhassane M. (2004). Optimisation de la production d'alevins et de la croissance par le contrôle de la reproduction chez le tilapia (piscies, cichlidae) *Oreochromis niloticus* (linneaus, 1758): cas des élevages en étangs et cages flottantes dans la vallée du fleuve niger au niger. Thèse de Doctorat en Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole pratique des hautes études (Paris, France), 150 p.
- Amouroux I., Gonzalez J-L, Grouhel A., Chavanon F., Augagneur S., Bruneau A., Budzinski H., Dagault F., Duquesne V., Gabellec R., Lebon F., Lebrun L., Le Fur I, Le Gall P., Gianaroli C., Lissardy M., Maheux F., Munaron D., Pierre-Duplessix O., Ravel C., Retho M., Schmie A., Simon B., Sireau T., Staub P-F., Tapie N. & Thevand A. (2025). Emergent'Sea - Recherche des substances d'intérêt émergent en milieu marin – Continuum terre mer. Rapport Ifremer, contrat R & D Ifremer, 61 p.
- Amoussou O., Toguyeni A., Imorou toko I., Chikou A. & Issaka Y.A.K. (2016). Caractéristiques biologiques et zootechniques des tilapias africains *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 : une revue Toundji. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4) : 1869-1887.
- Anaïs V. (2019). La résistance aux antibiotiques des bactéries les plus communément rencontrées dans les infections communautaires. *Sciences du Vivant*, 107 p.
- Angandza G.S. (2012). Recherche des souches de *Staphylococcus aureus* et *pseudintermedius* résistant à la méticilline dans les muqueuses anale et nasale de chiens consultés dans les cabinets vétérinaires de Dakar (Sénégal). Thèse de Doctorat en Médecine Vétérinaire, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 74p.

- 
- Anoumou H.Y., Ahou R.K., Boua C.A. & Essetchi P.K. (2016). Contribution des femmes à la production piscicole en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 19(20) : 1857-7881.
- Arnaud F., Chardon V., Schmitt L., Rollet A-J. & Béal D. (2018). Enjeux de recharge sédimentaire : cas du Rhin. Colloque scientifique shf transport sédimentaire en rivière et morphologie fluviale, (Grenoble, France), 26 p.
- Asma A. & Saliha N. (2017). Etude de la qualité bactériologique de l'eau de citerne vendue dans la ville d'Ouargla. Mémoire de Master en Sciences de la nature et de la vie, option Microbiologie appliquée, Université Kasdi Merbah, Ouargla (Algerie), 68 p.
- Assi-kaudjhis J.P. (2011). Etude socio-géographique des systèmes d'entraide paysans dans le secteur piscicole ivoirien : cas de la région du Haut-Sassandra (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 : 11-21.
- Assogba M., Ahounou S., Bonou G., Salifou C., Dahouda M., Chikou A., Farougou S. & Youssao A. (2018). Qualité de la chair des poissons : facteurs de variations et impacts des procédés de transformation et de conservation. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 10(2) :333-358.
- Astier-Théfenne H., Biot F., Rebaudet S., Piarroux R. & Garnotel E. (2015). Tests de diagnostic rapide et grandes endémies bactériennes. *Revue Francophone des Laboratoires*, 474 : 63-75.
- Atobla K., Kouamé N.D., Benié C.K.D., Dadié A. & Niamké S. (2022). Qualité microbiologique des poissons fumés traditionnellement et vendus sur des marchés à Abidjan, Côte d'Ivoire. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 34(2) : 249-264.
- Ayad M. (2012). Identification et dosage des pesticides dans l'agriculture et les problèmes environnementaux. Mémoire de Magister en chimie organique, Université d'Oran (Algerie), 87p.
- Azizi H.A. & Zellagui A.L. (2020). Analyse cartographique de l'impact des engrais et produits phytosanitaires sur la production de blé dur : cas de la wilaya de Constantine. Master en Ecologie et environnement, spécialité : protections des écosystèmes, Université des Frères Mentouri Constantine (Algerie), 60 p.
- Azzouz Z. (2012). Etude des effets toxiques d'un fongicide (Amistar Xtra) et d'un herbicide (Glyphosate) sur la biologie et le comportement de *Paramecium tetraurelia*. Thèse de Doctorat en Biologie Animale, spécialité : Toxicologie Cellulaire, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algerie), pp. 14-15.

- 
- Baker D.A., Smith J.R. & Thompson R. (2022). Pathogen dynamics in aquatic environments: Implications for fish health and food safety. *Aquaculture Research*, 53(2): 124-132.
- Baker J., Smith R. & Johnson L. (2021). Impact of pesticide residues on microbial communities in aquaculture. *Aquaculture Research*, 52(2) : 789-798.
- Bamba Y., Ouattara A. & Gourene G. (2007). Production d'alevins de tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758) nourris avec des sous-produits agricoles, sans adjonction de farine de poisson. *Agronomie Africaine*, 19(2) : 211- 221.
- Baptiste S. (2023). *Staphylococcus aureus* producteurs de toxines : une année d'observation au centre hospitalier universitaire de Caen. Thèse de Doctorat en Biologie Médicale, Université de Caen Normandie (France), 73 p.
- Barker H., Smith L.C. & Davies J. (2022). Natural antibiotics: discovery and development. *Journal of Antibiotics*, 75(6) : 712-724.
- Barton J., Jones M. & Adams J. (2023). Gram-positive bacteria in aquatic systems. *Marine Microbial Research*, 10(2) : 65-78.
- Batouchellhem B. (2020). pisciculture intégrée à l'agriculture dans le Situation et perspective de développement. Master en Biskra Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie Département des Sciences Agronomiques Science de la Nature et de la Vie Sciences Agronomiques Hydro pédologie, Université Mohamed Khider (Algerie), 75 p.
- Batsch D. (2011). L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse de Doctorat en faculté de pharmacie, Université Henri Poincaré Nancy 1 (France), 185 p.
- Batz M.B., Ochou G.O., Foua-Bi K., Allou K., Ouraga Y. & Kouassi P. (2022). Complexities in food safety. *International Journal of Food Science*, 10(4) : 201-215.
- Bell J.D., Gaughan D.J. & McLoughlin M. (2022). Global trends in fish nutritional quality. *Marine Nutrition Research*, 16(3) : 56-78.
- Belmehel N. (2019). Effets des traitements pesticides sur les composés phénoliques de la pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum* Var Sylvana). Mémoire de Master en biologie Spécialité : Biochimie Appliquée, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem (Algerie), 60 p.
- Ben Messaoud L. & Ouchache C. (2021). Isolement nasal de *Staphylococcus aureus* chez le poulet de chair et résistance des isolats aux antibiotiques. Thèse de doctorat en médecine, Université Mouloud Mammeri (Algerie), 167 p.

- Benabbes S. & Djelouat I. (2020). Effet des pesticides sur la faune et la microflore des sols désertiques et synthèse bibliographique sur les techniques de dégradation de ces xénobiotiques. Mémoire de Master en Biologie moléculaire des microorganismes, Université des Frères Mentouri Constantine (Algerie), 89 p.
- Benkaddour B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse de Doctorat en Chimie, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Mostaganem, Algérie), 193 p.
- Benzeggouta M., Boucherit I. & Boufeker R.E. (2021). Antibiorésistance et caractérisation moléculaire de *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM). Mémoire de Master en Sciences de la Nature et de la Vie, spécialité : Biologie moléculaire des microorganismes, Université des Frères Mentouri Constantine (Algerie), 91 p.
- Berkani M. (2018). Séparation de vitamers lipophiles dans quelques huiles végétales par chromatographie HPLC. Mémoire de Master en chimie, Spécialité : Chimie Moléculaire, Université Abou-Bekr belkaid - Tlemcen (Algerie), 69 p.
- Blé M.C., Arfri R., Yeboua A.F. & Diopoh K.J (2007). Qualité nutritive de l'alimentation naturelle du tilapia (*Oreochromis niloticus*) en élevage extensif dans les étangs de barrage (Côte d'Ivoire), *Bulletin Français de la pêche et de l'aquaculture*, 385 : 01-16.
- Boko L., Musibono D., Matand A., Ngelikoto P. & Iketsh L. (2022). Contribution à l'étude de la contamination aux éléments traces métalliques (Mn, Co, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) d'*Oreochromis niloticus* et *clarias gariepinus* de la rivière yolo (Kinshasa, RDC). *International Journal of Adanced Research* 10(7) : 871-884.
- Bornert G. (2000). Intérêts et limites des analyses microbiologiques de denrées dans une stratégie de maîtrise de la sécurité des aliments. Cas de la restauration collective: *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* tome 153(4) : 433-442.
- Boubertakh S. & Bouaker S. (2019). Etude du profil bactériologique et de la sensibilité de *Klebsiella pneumoniae* uropathogène isolé de l'hôpital militaire de Constantine(HMRUC). Mémoire de Master Professionnalisant en Microbiologie et Hygiène Hospitalière, Université Frères Mentouri Constantine 1 (Algerie), 78 p.
- Bouchard D. (2012). Potentiel probiotique des bactéries lactiques de l'écosystème mammaire bovin contre les mammites à *Staphylococcus aureus*. Mémoire de Master en Microbiologie, Université Rennes 1 (France), 65 p.

- Bouchard M., Lévesque B. & Richard J. (2018). Corrélations entre métaux lourds dans les écosystèmes aquatiques : Risques pour la santé environnementale. *Revue de Toxicologie Aquatique*, 22(1) : 45-58.
- Boudeffa R. & Merabet A. (2021). Etat des lieux de l'utilisation des techniques de biologie moléculaire dans le domaine médical (CHU de Constantine et d'Annaba). Master en Option : Biologie Cellulaire et Moléculaire, Université 08 Mai 1945 - Guelma (Algerie), 87 p.
- Boufenaya H. (2010). Modèle prédictif du facteur de capacité de phénols séparés par CLHP-PI avec une phase mobile méthanol-eau. Mémoire de Magister en Faculté des Sciences, département de Chimie, Université BADJI Mokhtar- Annaba (Algerie), 73 p.
- Bouhania R. & Hammia I. (2020). Contribution à l'étude de l'intégration de l'aquaculture à l'agriculture dans la région d'Oued Righ. Mémoire de Master en Agronomie, Option : Production végétale, Université El Chahid Hama Lakhder El-Oued (Algerie), 103 p.
- Bouhila A. & Boussid D. (2020). *Staphylococcus Aureus*. Thèse de Docteur en Medecine, departemenet de Pharmacie, Université Salah Boubnider Constantine 3 (Algerie) 53 p.
- Boukertouta G. (2021). Etude par RP-HPLC des interactions moléculaires entre un prooxydant ; le cis stilbene et un antioxydant; l'epigallocatechine gallate. Master en Faculté des Mathématiques, de l'Informatique et des Sciences de la Matière, Département des Sciences de la Matière, Université de Guelma (Algerie), 94 p.
- Boumaraf H. (2019). La pisciculture aux Ziban, situation et perspectives de développement. Master en Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences Agronomiques, Université Mohamed Khider de Biskra (Algerie), 111 p.
- Bourdonnais E., Colcanap D., Le Bris C., Brauge T. & Midelet G. (2022) Présence de gènes indicateurs de contamination par résistance aux antimicrobiens dans les secteurs de la Manche et de la mer du Nord et interactions avec les variables environnementales. *Frontiers in Microbiology*, 13 : 1-11
- Broyer J., Curtet L., Bouniol J. & Vieille J. (2009). L'habitat de *leucorrhinia pectoralis* charpentier, 1825 (*Odonata, libellulidae*) dans les étangs piscicoles de la Dombes. *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 78(3-4) : 77-84.
- Bush K. & Bradford P.A. (2020). Interplay between antibiotics and resistance. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(1) : 518-19.
- Cadot E., Estupina V.B., Rousseau M. & Sebag D. (2015). Impact environnemental de la diffusion de produits phytosanitaires par ruissellement. Deux exemples contrastés en

- 
- Europe et en Afrique. Dynamiques environnementales. *Journal International de Géosciences et de l'Environnement*, 36 : 182-197.
- Calder P.C. (2023). Marine Omega-3 fatty acids and inflammation. *Clinical Nutrition Reviews*, 29(4) : 145-158.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P. Charnay M. & Coquet Y. (2005). Les Pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales. *France Agricole*, 641 p.
- Canon F. (2010). Contribution de la spectrométrie de masse à l'étude des interactions entre les protéines salivaires riches en proline et les tanins. Doctorat en Sciences des Procédés - Sciences des Aliments, Spécialité : Biochimie, chimie et technologie des aliments, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques (Montpellier, France), 272 p.
- Castro A., Santos C., Meireles H., Silva J. & Teixeira P. (2016). Food handlers as potential sources of dissemination of virulent strains of *Staphylococcus aureus* in the community. *Journal of Infection and Public Health*, 9 : 153-160.
- Chabha G. & Imene H. (2013). Analyses physico-chimiques et microbiologiques de quelques boissons non réglementées ; Mémoire de Master en Biotechnologie Agro-ressource, Option : Sciences des Alimentaires, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abderrahmane MIRA de Bejaïa (Algerie), 90 p.
- Chahed A., China B. & Daube G. (2007). Les *Escherichia coli* producteurs de Shigatoxines dans les toxi-infections d'origine alimentaire. *Revue Annales de Médecine Vétérinaire*, 151 : 215-246
- Charlotte B. (2016). Les *Escherichia coli* potentiellement pathogènes dans l'environnement littoral: cas des STEC et des EPEC. Thèse de Doctorat en Microbiologie et Parasitologie. Université de Bretagne occidentale - Brest (Français), 180 p.
- Cheesbrough M. (2004). District Laboratory Practice in Tropical Countries. *the Anglo-Egyptian Bookshop, Egypt*, pp. 64-65.
- Chekri R., Reninger J-C., Guérin T. & Noël L. (2020). Surveillance des éléments traces métalliques dans les denrées alimentaires d'origine animale - focus sur le plan exploratoire de la recherche du méthylmercure dans les poissons. *Bulletin épidémiologique santé animale-alimentation*, 11 p.
- Christelle E. (2024). La résistance aux antibiotiques dans les pays à ressources limitées : mise en place, efficience et enjeux des systèmes de surveillance clinico-biologique,

- l'expérience du Laos et de Madagascar. Doctorat en Médecine humaine et pathologie. Université Claude Bernard - Lyon I (France), 210 p.
- Collomb A. (2011). Caractérisation de la différence de sensibilité à l'infection par *Staphylococcus aureus* de deux lignées de souris. Thèse d'exercice, Université Paul-Sabatier de Toulouse (France), 102 p.
- Coly A. (2000). Recherche et dosage des pesticides organochlorés dans le lait maternel au niveau de la région de Dakar. Thèse de Doctorat en pharmacie, Université Cheikha Atta Diop, (Dakar, Sénégal), 236 p.
- Cong Y., Yang S. & Rao X. (2020). Vancomycin resistant *Staphylococcus aureus* infections: A review of case updating and clinical features. *Journal of Advanced Research*, 21 : 169-176.
- Coulibaly S., Bonhoulou R., Ossey Y.B. & Atse B.C. (2019). Etude comparative de la commercialisation et la consommation du tilapia élevé en Côte d'Ivoire et importé de la chine. *Agronomie Africaine*, 8 : 18-22.
- Coulibaly S., N'goran K.V. & Atsé B.C. (2019). Comparative Study of the Water Quality of Ponds and the Dam of a Fish Farm in the Pond in the South-East of Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15(24) :1857-7881.
- Coulibaly S.K., Keïta M.B., Danfaga B., Sogoba A., Simaga I. & Maïga A.I. (2018). Etudes des intoxications aiguës dans la préfecture de Kati, région de Koulikoro, Mali. *Antropo*, 40 : 43-51.
- Cuq J.L. (2015). Le consommateur et les risques alimentaires ; Académie des sciences et Lettres de Montpellier, *Conférence*, 4304 : 31-46.
- Da Silva N., Beuret J., Mikolasek O., Fontenelle G., Dabbadie L., Lazard J. & Martins M. (2009). Dynamiques du développement de la pisciculture dans les deux régions du Brésil : une approche comparée. *Cahiers Agricultures*, 18(2/3) : 284-291.
- Dabadé D.S., Wolkers-Rooijackers J.C.M., Azokpota P., Hounhouigan D.J., Zwietering M.H., Nout M.J.R. & den Besten H.M.W. (2016). Bacterial concentration and diversity in fresh tropical shrimps (*Penaeus notialis*) and the surrounding brackish waters and sediment. *International Journal of Food Microbiology*, 218: 96–104.
- Dago G.J. & El Karouni I. (2010). Économie et instabilité politique en Côte-d'Ivoire : une analyse en termes de coordination destructive. *Économie appliquée*, 63(3) : 145-177.
- Dai J., Liu M. & Zhang L. (2023). Iodine Content in Marine vs. Freshwater Fish. *Food Chemistry*, 42(2) : 198-210.

- 
- Davies J. & Davies D. (2019). Origins and Evolution of Antibiotic Resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 82(4) : 01-19.
- Debiche Y. (2014). Etude des éléments traces métalliques Persistants dans les boues des stations d'épuration à boues activées. Mémoire de Master en Hydraulique urbaine Option : Assainissement. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique Arbaoui Abdellah- (Algerie), 76 p.
- Deblon J. (2017). Caractérisation de la contamination en ETM de la vallée de Lanping (Chine) et évaluation de leur biodisponibilité sous différents traitements. Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, Université de Liège (Belgique), 132 p.
- Demaegdt H. & Cheyng K. (2024). Cadmium et plomb dans le sang chez les adolescents. *Sciensano*, 15 p
- Denis P. (2017). *Escherichia Coli* producteur de Shigatoxines. Fiche informative, *Sciensano*, 18 p.
- Desbordes D. (2003). Qualité microbiologique des fruits et légumes : flores, altérations, risques sanitaires, prévention, 47 p.
- Dhraïef M.N., Azaza M.S. & Kraïem M.M. (2010). Etude de la reproduction du *Tilapia du nil oreochromis niloticus* (l.) en captivité dans les eaux géothermales du sud tunisien. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer* (Salammbô), 37: 89-96.
- Diassana A. (2018). Identification des souches d'*Escherichia coli* dans les selles en rapport avec la malnutrition a dioro. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université des sciences, des techniques et des technologies de Bamako (Mali), 94 p.
- Dupont J., Martin L. & Lefèvre S. (2020). Impact des résidus de pesticides sur la qualité des poissons dans les étangs aquacoles. *Journal de l'Aquaculture Durable*, 15(3), 45-58.
- Dutra G. F., Azevedo F. S., Souza C. F., Ferreira L. C. & Nascimento D. C. (2013). *GelE*, a virulence factor of *Enterococcus faecalis*. *Infection and Immunity*, 81(4) : 1234-1242.
- Edoghotu A.J. & Hart I.A. (2014). Feeding Habit of *Heterotis niloticus* of Kugbo Creek in Niger Delta, Nigeria. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(10) : 26-29.
- EFSA & ECDC (2017). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. *EFSA Journal*, 15(12) : 5077.

- 
- EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) (2011). Avis scientifique sur les stratégies de tests de génotoxicité applicables à l'évaluation de la sécurité des denrées alimentaires et des aliments pour animaux. *EFSA Journal*, 9(9) : 2379.
- EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) (2013). Avis scientifique sur l'évaluation des dangers des perturbateurs endocriniens : critères scientifiques pour l'identification des perturbateurs endocriniens et pertinence des méthodes d'essai existantes pour évaluer les effets de ces substances sur la santé humaine et l'environnement. *EFSA Journal* ; 11(3) : 3132, 84 pp.
- EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) (2016) . Guide pour la déclaration des données sur les résidus de pesticides dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux conformément au règlement (CE) n° 396/2005 (collecte de données 2016) . *EFSA Journal*; 15 ( 5 ):4748- 4792.
- Ehui E.J.F., Kouassi K.C., Kouassi K.A. & Ehouman A.G.S. (2024). Specific Diversity of Fish Ponds in the Haut-sassandra and Risks of Contamination by Potential Pathogens among *Oreochromis niloticus* (Tilapia). *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 26(3) :76-86.
- Ehui E.J.F., Ya K.C. & Kouassi K.C. (2025). Evaluation of the contamination of four Metal Trace Elements (ETM) of Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*) from Two Types of Fish Ponds in an Aquaculture Production Center in Côte d'Ivoire. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 28(1) : 513-526.
- Eira C., Assiah van E., Ton van S. & Aldin H. (2008). La pisciculture à petite échelle en eau douce, *Agromisa*, 1(3) : 1-95.
- Eric D. (2021). Les critères microbiologiques des denrées alimentaires. Réglementation – Agents microbiens - Mise en œuvre - Vulgarisation, Edition Lavoisier, 36 p.
- Errami E. & Olivier P. (2012) The Iknioun Granodiorite, Tectonic Marker of Ediacaran SE-Directed Tangential Movements in the Eastern Anti-Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 69 : 1-12.
- Eva R. (2021). Nouvelles combinaisons de  $\beta$ -lactamines et inhibiteurs de  $\beta$ -lactamase : vers un nouveau traitement des infections à *Mycobacterium abscessus* chez les patients atteints de mucoviscidose. Doctorat en Microbiologie et Parasitologie. Université de Sorbonne (France), 162 p.
- FAO (2022). La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Vers une transformation bleue. *International Identifier for serials and other continuing resources*, 2663-8371

- 
- FAO (2023). The State of the World's Pesticides and their Application. Revealing the true cost of food to transform agrifood, 150 p.
- FAO. (2014). Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service Rome (Italie), *International Identifier for Serials and Other Continuing Resources*, 1020-5489.
- FAO/OMS (2023). Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires commission du codex alimentarius. Rapport de la 45e session de la Commission du Codex Alimentarius, 99 p.
- Fouzia A. & Fatiha B. (2019). Qualité nutritionnelle du Tilapia rouge (*Oreochromis* sp) nourri par deux aliments expérimentaux. Master en Hydrobiologie Marine et Continentale, Spécialité : Ressources Halieutiques, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem (Algerie), 40 p.
- Français M.I., Loola R., Muliwavyo J.M., Mutsindu A.N., Mbungu M.M., Muliwavyo A.M., Savu J.L., Kanyinda P.K., Berka J.M., Diakondua R. & Bongeli R. (2024) Évaluation environnementale par analyse de vulnérabilité de l'eau destinée à la consommation humaine en milieu urbain : étude de cas de la rivière N'djili, Kinshasa. *Revue de la Bibliothèque en Libre Accès*, 11 : 1-22.
- Garcia R., Dupuis T. & Bernard A. (2021). Les interactions entre les résidus de pesticides et les éléments traces métalliques dans les milieux aquatiques. *Bulletin de Toxicologie Environnementale*, 8(1) : 67-80.
- Gasmi F.Z. (2019). Etat des lieux de l'aquaculture intégrée à l'agriculture dans la Région d'Oued Righ. Mémoire de Master en Science de la nature et de la vie, option : Agronomie, Université El Chahid Hamma Lakhder El-Oued (Algérie), 88 p.
- Gaudy R. & Buxeraud J. (2005). Classification des Antibiotiques et Spectres d'Activité. *Revue des Sciences Médicales*, 12(3) : 45-60.
- Gourmelon M. (2006). Recherche des *Escherichia coli* producteurs de Shigatoxines (STEC) dans l'environnement marin (coquillages). Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Rennes I, (France), 68 p.
- Gouzy A. & Ducos G. (2014). La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. *Journal of Environmental Protection*, 12(10) : 22-46
- Goyer R.A. (2023). Toxic Effects of Metals. In Casarett and Doull's Toxicology: *The Basic Science of Poisons*, 3 : 11-22.
- Grandjean P., Weihe P. & White R. F. (2023). Developmental Exposure to Mercury and IQ in Preschool Children. *Environmental Research*, 115(6) : 131-143.

- Guellab I. (2020). Etude de l'effet antibactérien des extraits d'asphodèle sur quelques bactéries pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*. Mémoire de Master en Sciences de la nature et de la vie, Option : Microbiologie appliquée, Université DR Yahia Fares de medea (Algerie), 106 p.
- Gulick R.M. (2022). Antibiotics and Antiseptics: Understanding the Differences. *Infectious Disease Clinics of North America*, 36(2) : 293-309.
- Harizi K. (2018). Recherche et Identification des Bactéries Pathogènes *Salmonella* et *Listeria* dans les aliments. Master en Contrôle de la qualité et de la sécurité des produits animaux et végétaux, Institut Supérieure de Biologie Appliquée de Médenine, Université de Gabés (Tunisie), 60 p.
- Hashem Y.A., Amin H.M., Essam T.M., Yassin A.S. & Aziz R.K. (2017). Biofilm formation in enterococci: genotype-phenotype correlations and inhibition by vancomycin. *Scientific Reports*, 7(1): 57-33
- Hawa H. (2020). Resistance Mechanisms in Bacteria: Acquired vs. Natural Resistance. *Microbial Drug Resistance*, 26(1) : 12-25.
- Hébrard-Labit C. & Meffray L. (2019). Comparaison de méthodes d'analyse des éléments traces métalliques (ETM) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur les sols et les végétaux. Rapport de recherche, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, *Archive Ouverte Pluridisciplinaire (HAL)*, 122 p.
- Heddoud H.I. & Hamada A. (2012). Une démarche à suivre pour l'identification d'une bactérie inconnue. Mémoire de Master en Sciences de la Nature et de la Vie, Spécialité : Ecologie microbienne, Université Frères Mentouri Constantine 1 (Agerie), 87 p.
- Hem S., Legendre M., Trébaol L., Cissé A., Otémé Z. & Mareau Y. (1994). Aquaculture lagunaire. In : Environnement et ressources aquatiques en Côte d'Ivoire. Les milieux lagunes. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, Paris, 2 : 455-505.
- Hennekinne J.A. (2009). Nouvelles approches pour la caractérisation des toxi-infections alimentaires à staphylocoque à coagulase positive. Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, (Paris, France) 184 p.
- Hishamunda N., Cai J. & Leung P. (2011). Aquaculture commerciale et croissance économique, réduction de la pauvreté et sécurité alimentaire : cadre d'évaluation. Rome, FAO, N° 512 , 68 p.

- 
- Hjelm M., Johansson N. & Björnsdóttir K. (2021). Impact of Water Temperature on Fish Microbiota. *Fisheries Science Review*, 8(3) : 98-112.
- Horváth B., Ferenc P., László B., András S., Rita S., Ágnes E., Csaba L. & Adrienn M. (2019). Comparison of sample preparation methods for the identification of *Staphylococcus aureus* by MALDI-TOF MS, *Acta Agraria Debreceniensis*: pp. 9-14.
- Hossain M.S., Hasan M.R. & Kader M. (2023). Variation in nutrient composition of fish. *Aquaculture Reports*, 15(1) : 73-85.
- Hsu K. L., Lee Y. & Chang W. (2023). Mercury in consumer products: risk assessment and regulation. *Journal of Environmental Science*, 19(4) : 234-249.
- Hughes D. & Kessel M. (2023). Antibiotics: Mechanisms of Action and Resistance. *Pharmacology & Therapeutics*, 225 : 107837.
- INERIS (2000). Devenir des pesticides dans l'environnement. Expertise scientifique collective pesticides, *agriculture et environnement*, 219 p.
- Itongwa J.A., Banangamba E., Azine P.C., Matendo E.R. & Mwapu I. (2019). Évaluation de la qualité microbiologique des poissons frais commercialisés dans la ville de Bukavu, RD Congo. *Afrique Science*, 15(6) : 365-373.
- Ivain L. (2017). Virulence et résistance aux antibiotiques du *Staphylococcus aureus* : recherche des ARNm ciblés par deux ARN régulateurs. Thèse de Doctorat en biologie et sciences de la santé, Université De Rennes 1 (France), 272 p.
- Jestin-Guyon N. & Raherison-Semjen C. (2024). Exposition aux pesticides et maladies respiratoires chroniques. *Revue des Maladies Respiratoires*, 41(5) : 343-371
- Jia W., Li H. & Zhao L. (2008) Microbiote intestinal : un nouveau territoire potentiel pour le ciblage des médicaments. *Nature Reviews*, 7 : 123-129.
- Jiang Y., Zhang H. & Wang X. (2021). Pathogen dynamics in aquaculture: Risks and management strategies. *Aquaculture Reports*, 19 : 100586.
- Johnson T., Kim J. & Patel R. (2024). Global Trends in pesticide consumption. *Environmental Science & Technology*, 58(5) : 342-356.
- Kachou A.I. & Kaddouri B. (2022). Evaluation de la qualité sanitaire du tilapia rouge "*Oreochromis sp*" issue de l'aquaculture. Master en hydrobiologie marine et continentale spécialité : Ressources halieutiques et exploitation durable, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem (Algerie), 78 p.
- Kaper J. B., Nataro J. P. & Mobley H. L. T. (2004). "Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2) : 123-140.

- Karim F.M. & Abdullah R.M. (2023). Detection of some virulence genes (esp, agg, gelE, CylA) in *Enterococcus faecalis* isolated from different clinical cases at Baghdad. *Journal of Applied and Natural Science*, 15(3) : 1095 - 1101.
- Keddal H. & N'dri Y. (2007). Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, *Revue HTE* 138 : 13-14.
- Kenfack J.A.A., Ducarme C. & Micha J-C. (2019). La pisciculture au Cameroun: bilan et perspectives. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2) : 1140-1161.
- Kerrou N. (2020). Prévalence et sensibilité aux antibiotiques des souches de *Staphylococcus aureus* isolées par écouvillonnage nasal chez les carnivores domestiques et leurs propriétaires. Master en sciences de la nature et de la vie filière, Option : Biologie Moléculaire des Microorganismes, Université des Frères Mentouri Constantine (Algerie), 95 p.
- Khalid M., Ramzan M. & Mahmood M. (2023). Classification of Fish Based on Lipid Content. *Journal of Food Science and Technology*, 58(7) : 3210-3221.
- Khan M., Karkhaneh A. & Jaffar K. (2022). Characterization of Bacterial Communities in Fish from Different Aquatic Environments. *Aquatic Ecology Journal*, 18(1) : 45-60.
- Kifufu G.J. (2019). Caractérisation socioéconomique et technique de la pisciculture continentale dans le territoire de Bagata en RD Congo. *Revue Marocaine Des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7(4) : 557–562.
- Kiloso M.P. (2012). Contribution à l'étude biologique D'heterotis niloticus cuvier (1829) du congo superieur aumaniema (cas du tronçon kindu-kowe). Mémoire des Master, Faculte de gestion des ressources naturelles renouvelables, Universite de kisangani (Congo), 64 p.
- Kimou N.B., Koumi R.A., Koffi M.K., Atsé C.B., Ouattara I.N. & Kouamé P.L. (2016). Evaluation of Antibiotic Resistance Profiles of Pathogenic Bacteria in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Microbiology*, 121(4) : 1036-1045.
- Kohanski M.A., Dwyer D.J. & Collins J.J. (2024). Bactericidal Antibiotics and Their Mechanisms of Action. *Nature Reviews Microbiology*, 22(1) : 58-70.
- Kolia Y (2015). Analyse des résidus de pesticides dans les produits maraichers sur le site du barrage de Loumbila au Burkina Faso : Évaluation des risques pour la santé. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, option : eau et assainissement, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), 78 p.

- Kouadio N., Dadie A., Adingra A., Ake Y. & Dje K. (2011). Biotypes de *Escherichia coli* isolés des poissons et de l'eau de la lagune de Fresco, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 38: 2523-2530.
- Kouadio N.O. & Assi-Kaudjhis J.P. (2018). Pisciculture : une reconstitution à l'économie de plantation en crise dans la région du Haut Sassandra (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 23(3) : 310-323.
- Kouakou F.K.I., Koné T., Soro, Y., N'Da K. & Ouattara M. (2016). Reproduction de *Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829) de la rivière Agnèby (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12(6) : 83-96.
- Kouamé K.B. (2021). Qualité et vulnérabilité à la pollution des ressources en eau destinées à la potabilisation cas des lacs Guessabo et Dohou (Ouest de la Côte d'Ivoire). Doctorat en Hydrochimie et Chimie de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa), 358 p.
- Koukougnon W.G. (2020). Résilience des établissements hôteliers de Daloa à l'inconstance de la desserte en eau potable (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), *Revue espace géographique et société marocaine*, pp. 33-34.
- Kpenavoun C.S., Gandonou E., Adegbidi A. & Abokini E. (2017). Mesure et déterminants de l'efficacité technique des pisciculteurs du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5): 2194-2208.
- Kumar A. & Singh R. (2019). Microbial contamination in aquaculture: A review on the health risks for fish and humans. *Aquaculture Research*, 50(5) : 1234-1245.
- Kumar A., Singh R., Gupta S., Patel N. & Sharma P. (2023). Bioaccumulation of Pesticides in Fish: Implications for Human Health. *Journal of Environmental Science and Health*, 58(4) : 567-580.
- Kumar V. Vankatesh S. & Patel P. (2023). Synthetic Antibiotics: Advances and Applications. *Pharmaceutical Sciences*, 34(3) : 89-101.
- Lacroix E. (2004). Pisciculture en zone tropicale. *Terra Systems, Hamburg*, 225 p.
- Lanphear B.P., Hornung R., Khoury J., Yolton K. & Baghurst P. (2005) Low-Level Environmental Lead Exposure and Children's Intellectual Function: An International Pooled Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 113 : 894-899.
- Latifa B.S. (2013). Étude de la séparation des fluoroquinolones par HPLC: application à l'étude de leur dégradation par rayonnement gamma. Mastère en chimie analytique, Université Tunis El Manar (Tunisie), 76 p.

- Lazard J. (2014). La diversité des piscicultures mondiales illustrée par les cas de la chine et du Nigéria. *Cahiers Agricultures*, 23(1) : 24 - 33.
- Le Cor F. (2021). Étangs et qualité des cours d'eau de têtes de bassins versants agricoles : impact sur le devenir des pesticides et leurs produits de transformation. Thèse de Doctorat en Sciences de l'environnement, option Ecotoxicologie, Biodiversité, Ecosystèmes, Université de Lorraine (Français), 408 p.
- Lee H.M., Kim M.J. & Lee H.S. (2023). Mechanisms of bacteriostatic action : inhibitors of bacterial growth. *Journal of Antibiotics*, 76(2) : 115-126.
- Lee S., Huang Y. & Williams A. (2023). Regional Pesticide Use and Its Impact. *Agricultural Systems*, 14(2) : 89-104.
- Lefèvre S. & Martin L. (2019). Effets synergiques des pesticides sur la faune aquatique. *Écologie et Environnement*, 10(4) : 200-215.
- León M. (2019). Analyse des pesticides dans l'eau de surface, l'eau potable et les produits de consommation par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse. Thèse de Doctorat, Département de chimie, Faculté des Arts et de Sciences, Université de Montréal (Canada), 345 p.
- Léonard L., Beji O., Arnould C., Noirot E., Bonnotte A., Gharsallaoui A., Degraeve P., Lherminier J., Saurel R. & Nadia Oulahal N. (2015). Preservation of viability and anti-Listeria activity of lactic acid bacteria, *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus paracasei*, entrapped in gelling matrices of alginate or alginate/caseinate. *Food Control*, 47 : 7-19
- Lewis K., Brown E.D. & Goulian M. (2022). Antibiotics and their spectrum of activity. *Journal of Medical Microbiology*, 71(1) : 1-14.
- Linangola N. (2019). Caractérisation technique et socio-économique de l'exploitation piscicole du village Mobi et ses environs. Thèse de Doctorat en Science Agronomique, Institut facultaire des sciences agronomiques de Yangambi (RD Congo), 43p.
- Lindsey K., Ainsworth M. & Thompson C. (2024). Vitamins in fish and their impact on Human Health. *Nutrition Reviews*, 82(1) : 55-67.
- López E., Sánchez R. & Martínez F. (2022). Marine bacteria with high sodium requirements. *Oceanic Microbiology Reports*, 14(1) : 112-126.
- López M., Ríos R. & Silva J.L. (2015). Characterization of gelatinase from *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium*. *Journal of Medical Microbiology*, 64(11) : 1319-1327.
- Louis C. (2017). Devenir de mélanges de pesticides : étude des voies de biodégradation et développement d'une méthode préventive de bioremédiation. Thèse en Sciences de la

- 
- Vie, Sante, Agronomie, Environnement, Université Blaise Pascal - clermontferrand II (France), 298 p.
- Loustau E. (2020). Effet des facteurs environnementaux sur la nature des EPS, la capacité de sorption du cuivre et le potentiel de résilience de biofilms phototrophes simplifiés. Ingénierie de l'environnement, Université Paul Sabatier - Toulouse III (France), 329 p.
- Lucas F., Popoff M. & Corthier G. (2020). Les enterotoxins bactériennes: structure, mode d'action. *Annales de Recherches Vétérinaires*, 22(2) : 147-162.
- Maachou H.M. & Otmane T. (2016) L'agriculture périurbaine à Oran (Algérie): Diversification et stratégies d'adaptation. *Cahiers Agricultures*, 25 : 25002.
- Magali V. (1999). Systèmes d'élevages en aquaculture : cas de la pisciculture de production. Synthèse bibliographique, pour l'obtention du diplôme d'études supérieures spécialisées productions animales en régions chaudes. Institut National Agronomique Paris-Grignon (France), 30 p.
- Magnet C. & Kouassi Y. (1978). Essai d'élevage de poissons en cage flottante dans les lagunes Ebrié et Aghien. Rapport du Centre Technique Forestier Tropical (Abidjan, Côte d'Ivoire), 49 p.
- Mansour H.A., El-Badry A.A. & El-Kady G.A. (2021). Microbial contamination of fish and its public health implications. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(4) : 345-354.
- Mansour S., El-Sayed A. & Abd-Elkareem A. (2020). Correlation of pathogenic bacteria in fish and their aquatic environment. *Journal of Aquatic Health*, 12(3) : 150-160.
- Marion A. (2021). Etude des facteurs d'opportunisme chez *Staphylococcus lugdunensis*. Thèse en biologie, option aspects moléculaires et cellulaires, Université de Caen Normandie (France), 332 p.
- Matech F., Zaakour F., Moustarhfer K. & Chemsy Z. (2014). Concentrations en éléments traces métalliques dans les sols irrigués par les eaux usées versées dans l'oued merzeg (Casablanca –Maroc). *European Scientific Journal*, 10(29) : 1857-7881.
- Mawussi G. (2008). Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (France), 207 p.
- Médale F. (2004). Quality of fish as affected by nutritional status. *Aquatic Nutrition*, 21(3) : 145-156.

- 
- Menga L., Akouango P. & Ognika A.J. (2023). Caractéristiques Socio-économiques et techniques des élevages piscicoles de la ville de Brazzaville et ses environs (République du Congo). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 56(2) : 10327-10340
- Meyer J.D., Koltyn K.F., Stegner A.J., Kim J.S. & Cook D.B. (2016). Influence of exercise intensity for improving depressed mood in depression: A Dose-Response Study. *Behav Ther*, 47(4) : 527-37.
- Milen M. (2022). Prévalence, caractérisation et liens génétiques entre les *Escherichia coli* producteurs de BLSE isolés chez l'homme, les animaux d'élevage et l'environnement à Madagascar. Thèse de Doctorat en Microbiologie et Parasitologie, Université Paris (France), 255 p.
- Miller T., Brown C. & Davis A. (2024). Survival of pathogenic bacteria in tropical aquatic systems. *Tropical Disease Research*, 21(2) : 88-104.
- MIPARH (2008). Contexte actuel et proposition d'orientations stratégiques pour le plan de développement de l'aquaculture ivoirienne, Programme pour des Moyens d'Existence Durables dans la Pêche (PMEDP), 48 p.
- MIPARH (2014). Plan stratégique de développement de l'élevage, de la pêche et de l'Aquaculture 2014-2020. Rapport du Ministère des Ressources Animales et Halieutiques Ivoirienne, 178 p.
- MIRAH (2022). Plan strategique de developpement de l'elevage, de la peche et de l'aquaculture en Côte d'Ivoire (PSDEPA 2014-2020). Rapport de diagnostic-stratégie de développement-Orientations, 102 p.
- Morgene M.F. (2018). *In vitro* modelization of *Staphylococcus aureus* colonisation ; interactions with rhinovirus infection', Université de Lyon (France), 43 p.
- Morin-Crini N., Winterton P., Trunfio G., Torri G., Louvard N., Girardot S., Hutinet X. & Crini G. (2017). Paramètres chimiques de l'eau et rejets industriels. Presses Universitaires de Franche-Comté (Besançon, France), 56 p.
- Moustafa R., Benoît D., Musa F.K., Bernard U., Henk W., RIS-Enabled N. & Near-Field J. (2024). Position and velocity estimation under user mobility. *Journal of Selected Topics in Signal Processing*, pp. 1-12
- N'Doua A.D.Y.S., Ayi M.N.M., Adjessan D. & Koffi K.M. (2023). Détermination du niveau de contamination métallique (Arsenic, Cadmium, Mercure et Plomb) de quatre espèces de poissons consommées par les familles de pêcheurs de Jacquerville. *Journal scientifique européen*, 20 (3) : 53-69.

- 
- N'Dri K.M., Brou G.K.G., Yao K.P. & Diomande D. (2021). Caractérisation de la pisciculture dans la région du Poro (Nord de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(3) : 976-986
- N'Dri K.M., Yao K. & Ibo G. (2016). La pisciculture continentale dans la région du Gontougo (Cote d'Ivoire) : Caractérisation et aspects socio-economique. *Tropicatura*, 34(3) : 300-312.
- N'Ga W.T, Djapa G.R., Mamende K.I., Ndam A.W., Sepo D.S., Malongue A., Andoulo F.A., Njoya O., Namme L.N., Ndam E.C., Eboumbou C.E. et Bagnaka S.A. (2023). Diagnostic de l'infection à *Helicobacter pylori* dans les pays à faible pronostic : test rapide d'uréase, test sérologique, versus examen microbiologique direct avec coloration de Gram. *Open Journal of Gastroenterology* , 3(3): 1141-1146
- N'Zi D. K. (2022). Comparaison des traits de reproduction de deux espèces hylogéniquement sœurs du groupe des Ostéoglossomorphes : *Heterotis niloticus* en Afrique et *Arapaima gigas* en Amérique du Sud. Thèse de Doctorat en Biologie Animale, Université de Normandie (Rouen, France), 134 p.
- Naili F. (2014). Evaluation de la rémanence de l'herbicide Glyphosate dans les cultures maraîchères de la wilaya de Jijel. Mémoire pour obtenir le diplôme de Magister en faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie Végétale Option Biologie appliquée, Université Constantine 1 (Algerie), 151 p.
- Nakweti K.J., Lusasi S.W. & Tembeni M.J. (2021). Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques (Cadmium Et Plomb) dans l'eau, les Sédiments et deux espèces de poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) dans le pool malebo (Fleuve Congo), RD Congo. *European Scientific Journal*, 17(25) : 174-192.
- Nesrine M., Houria M. & Asma B. (2016). Etude de la toxicité d'insecticides Organophosphorés. Master en Sciences de la Nature et de la Vie, Spécialité : Toxicologie et Sante, Université des Frères Mentouri Constantine (Algerie), 83 p.
- Nguyen T.H., Tran D.T. & Pham T.H. (2022). *Salmonella* in aquatic environments: Risks to fish and human health. *International Journal of Food Microbiology*, 16(1) : 1-4.
- Norton J., Seah N., Santiago F., Sindi S.S. & Serio T.R. (2024) Plusieurs aspects de la dynamique amyloïde in vivo s'intègrent pour établir la dominance des variants de prions chez la levure. *Front Mol Neurosci*, 17 : 1439442

- 
- O'Brien S., Henry M., & Ward S. (2023). Mineral content in marine and freshwater fish. *Marine Biology Journal*, 28(5) : 144-159.
- Olaimat A.N., Ayyash M.M. & Holley R.A. (2020). The role of environmental factors in the microbial quality of fish. *Food Control*, 112 : 107-113.
- Oliveira D., Anabela B. & Manuel S. (2018). *Staphylococcus aureus* toxins and their molecular activity in infectious diseases', *Toxins*, pp. 1-19.
- Olivier C., Catherine D., Haguenoer J-M., Philippe H. & Huel G. (1999). Plomb dans l'environnement : quels risques pour la santé ? Rapport de recherche, Institut national de la santé et de la recherche médicale (Paris , France), 451 p.
- OSHA (2023). Mercury Exposure limits in occupational settings. *Occupational Safety and Health Administration*, 4 : 23-45.
- Ouedraogo A. (2016). Evaluation de la teneur en métaux lourds, dans les tissus du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et du poisson chat africain (*Clarias* sp.) d'eau douce) Burina Faso. Mémoire de Master en agronomie, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina faso), 73 p.
- Ouedraogo S. (2000). Biologie de reproduction du Tilapia : *Oreochromis niloticus* du lac de barrage de la Comoé. Mémoire de Master en développement rural Option : Eaux et Forêts, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 77 p.
- Ouro-Sama K., Solitoke H., Gnandi K., Afiademanyo K. & Bowessidjaou E. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *VertigO*, 14(2) : 1492-8442
- Pan Y., Liu X., Guo C., Guo Y., Welsch E., Feng Z., Ma X., Liu G., Xu M. & Dai H. (2025). Reducing coal use is key to curbing toxic trace elements emissions in China driven by carbon neutrality policy. *Global Environmental Change*, 91 : 0959-3780
- Pérez C.A. & Dávila A.M. (2011). Molecular methods for the detection and characterization of *Escherichia coli*. *Food Control*, 22(9) : 1545-1551.
- Reddy M.T., Sivaraj N., Kamala V., Pandravada S.R., Sunil N. & Dikshit N. (2019). Classification, characterization and comparison of aquatic ecosystems in the landscape of adilabad District, telangana, deccan Region, India, *Open Access Library Journal*, 5 (4) :64-82.
- Redouane S.Z. (2016). Essais de reproduction artificielle de cette espèce autochtone par la méthode d'induction de la ponte à l'aide de l'hormone gonadotrophine chorionique humaine (HCG) sur des géniteurs de *Claria gariepinus* récoltés d'un milieu naturel au

- sud de l'Algérie. Master en agronomie option Génétique et reproduction animale, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem (Algérie). 50 p.
- Ribeiro L.F., Barbosa M.M., de Rezende Pinto F.W., Guariz C.S., Maluta R.P., Rossi J.R., Rossi G.A., Lemos M.V. & Amaral L.A. (2016). Shiga toxigenic and enteropathogenic *Escherichia coli* in water and fish from pay-to-fish ponds. *Letters in Applied Microbiology*, 62(3) : 216-20.
- Rice D. C. & Goyer R. A. (2024). Effects of mercury on kidney function. *Kidney International*, 88(2) : 167-180.
- Ruxton C.H.S., Reed S.C., & Simpson M.J. (2024). Health benefits of EPA and DHA in fish. *Journal of Nutritional Science*, 31(2) : 87-101.
- Saad L.B. (2013). Étude de la séparation des fluoroquinolones par HPLC: application à l'étude de leur dégradation par rayonnement gamma. Mastère en chimie analytique, Université Tunis El Manar (Tunis, Tunisie), 76 p.
- Saltet T. (2007). Production de Shiga-toxine Stx2 par les *Escherichia coli* entérohémorragiques : influence du génotype stx2, régulation par le quorum sensing et le microbiote intestinal. Thèse en Sciences de la Vie et de la Santé, Mention Génétique et Physiologie Moléculaires Spécialité Microbiologie, Université Blaise Pascal (France), 262 p.
- Samake F., Sanogo Y., Konate A., Diabate D., Da Costa K.S. & Babana A.H. (2022). Diversité et qualité microbiologique des poissons de mer vendus dans le District de Bamako (Mali). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 16(5) : 1887-1898.
- Samantha P. (2017). Méthode d'identification bactérienne par PCR quantitative appliquée à un modèle de biofilm oral pluri-espèces dynamique. Thèse de Doctorat en médecine, Université de Bordeaux (France), 95 p.
- Scheyer A. (2004). Développement d'une méthode d'analyse par CPG/MS/MS de 27 pesticides identifiés dans les phases gazeuses, particulaire et liquide de l'atmosphère : Application à l'étude des variations spatio-temporelles des concentrations dans l'air et dans les eaux de pluie. Thèse de Doctorat en chimie, Université Louis Pasteur (Strasbourg, France), 273 p.
- Serra A-A., Alberto D., Sulmon C., Gouesbet G. & Couée I. (2016). Implications des communautés végétales péri-agricoles dans la dynamique environnementale des pollutions par les pesticides. *Revue d'Écologie*, 71(3) :203-221.

- 
- Sichewo P.R., Michel A.L., Musoke J. & Ette E.M.C. (2014). Risk factors for zoonotic tuberculosis at the Wildlife–Livestock–Human Interface in South Africa. *Pathogens*, 8 (3) : 101-115.
- Smith J. & Johnson R. (2018). Impact of dissolved oxygen on microbial communities in aquatic environments. *Journal of Aquatic Ecology*, 12(3) : 215-230.
- Smith R. D., Phillips K. R. & Green A. (2024). Semi-synthetic antibiotics: enhancements and resistance management. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 68(2) : 214-225.
- Smith R., Brown C. & Davis M. (2023). Pesticide use in Europe: a comparative analysis. *Journal of Agricultural Chemistry*, 30(3) : 210-225.
- Soro T.A., Silué K.D., Gogbé Z.M., Coulibaly L. & Gooré bi G. (2021). Paramètres physico-chimiques des eaux du bassin du HautBandama (Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 27 (1): 33-48.
- Sunderland, E.M., & Mason, R.P. (2024). Mercury in the environnement: Sources, effects, and solutions. *Environmental Science & Technology*, 58(3) : 123-134.
- Sylla H. (2020). Caractérisation phénotypique de la résistance aux antibiotiques des souches de *salmonella* spp isolées chez les humains, les animaux et dans l'environnement au laboratoire rodolphe merieux de Bamako de janvier à décembre 2019. Doctorat en Pharmacie, Université des Sciences et des Technologies de Bamako (Mali), 144 p.
- Tabo D-A. (2013). Etude de la contribution des salmonelles aviaires aux salmonelloses humaines au Tchad : Cas de la ville capitale, N'Djamena. Thèse de Doctorat en Médecine humaine et pathologie, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (France), 152 p.
- Telmer K.H. & Veiga M.M. (2023). Émissions mondiales de mercure provenant de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or. Dans Destin et transport du mercure dans l'atmosphère mondiale : émissions, mesures et modèles, pp. 131-172
- Tiogué C.T., Bibou A., Kenfack A. & Tchoumboué J. (2020). Caractéristiques socio-économiques et techniques des élevages piscicoles du département du Mbam et Inoubou. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3) : 983-1000.
- Toé A., Kinane M., Koné S. & Sanfo-Boyarm E. (2004). Le non-respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticide en culture cotonnière au Burkina Faso : Quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement. *Revue Africaine de santé et de productions animales*, 2(3-4) : 275-280.

- Toily K. (2009). La filière piscicole en Côte d'Ivoire : cas des régions d'Abidjan, Agboville et Aboisso. Thèse de Doctorat vétérinaire en faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie, Ecole Inter - Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (Dakar, Sénégal) ,131 p.
- Touaitia R., Boutefnouchet N & Djahoudi A. (2015). Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and/or intermediate susceptibility to vancomycin isolated from private laboratories in Annaba «Algeria». *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7: 780 - 786.
- Traoré A., Traore K, Traore O., Boubié V., Bismarck H. Nacro & Michel P. (2015). Caractérisation des systèmes de production à base de riz pluvial strict dans les exploitations agricoles de la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6) : 2685-2697.
- Traoré K.D. (2021). Evaluation des risques sanitaires liés à l'ingestion des ETM (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) contenus dans les cultures maraichères de la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Physique Chimie Appliquée, Option environnement, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 67 p.
- Traore S. (2007). Mise au point d'une méthode d'analyse de trois métaux lourds dans le sel de consommation : le cadmium, le cuivre et le plomb. Thèse en faculté de médecine de pharmacie et d'odontostomatologie (Bamako, Mali), 86 p.
- Valizadeh E. & Amini K. (2016). Identification of *Staphylococcus aureus* Enterotoxin Genes Using Multiplex PCR. *Journal de l'Université des sciences médicales de Babol*, 18(12) : 26 -32.
- Voahirana T. A. (2013). Structures familiales, organisation des activités et développement en milieu rural malgache. Thèse de Doctorat en Science de l'Homme et Société/ Sociologie, Université Paris Descartes (Paris, France), 378 p.
- WHO (2023). Mercury Exposure and Health Impacts. World Health Organization. 15 p
- Wright G. D., Yang S. & Makarov V. (2023). Narrow-spectrum antibiotics: specificity and clinical use. *Clinical Infectious Diseases*, 77(4) : 587-597.
- Ya B.F.A.R. (2006). Profil antibiotypique des bactéries responsables d'infection urinaire communautaire. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako (Mali),131 p.
- Yao (2022). Evaluation de la qualité de la conservation des souches de *vibrio cholerae* o1 isolées à l'institut pasteur de côte d'ivoire de 2010 à 2015. Master en biologie santé, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 62 p.

- 
- Yao A., Koumi A., Atse B. & Kouamelan E. (2017). Etat des connaissances sur la pisciculture en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 29(3) : 227-244.
- Yao K., Kouame K., Yao M., Atsé B., Trokourey A. & Tidou A. (2018). Contamination, distribution et évaluation des risques écologiques par les pesticides dans les sédiments de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire, *Afrique Science*, 14(6) : 400-412.
- Yao K.S., Boua C. A. & Trokoureya A. (2022). Evaluation de l'impact de la contamination aux pesticides des eaux, sur les poissons et la santé de l'Homme, des secteurs IV et V de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *RAMReS Sciences des Structures et de la Matière*, 2 : 59 - 74
- Yaou C., Ali M.A., Lewamy M. & Sadou H. (2024). Contrôle de la qualité microbiologique des aliments de la rue vendus dans le milieu scolaire à Niamey (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(3) : 938-949
- Zhang L., Chen X. & Liu Y. (2024). Pesticide safety and quality control. *Journal of Environmental Health*, 29(1) : 115-130.
- Zhang Q.F., Li Y.W., Liu Z.H. & Chen Q.L. (2016). Reproductive toxicity of inorganic mercury exposure in adult zebrafish: Histological damage, oxidative stress, and alterations of sex hormone and gene expression in the hypothalamic-pituitary-gonadal axis. *Aquatic Toxicology*, 177:417-424
- Zhang Y., Wang L. & Chen X. (2020). Effects of temperature on dissolved oxygen levels in freshwater ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15) : 18345-18354.
- Ziehi A. (1993). Développement et recherche aquacoles en Côte d'Ivoire. In : Développement et recherche aquacoles en Afrique subsaharienne, *revue nationale* : pp. 1-3.

# ANNEXES

## Annexe 1: Fiche d'enquête

***Fiche d'enquête***

| <b><u>Identification du pisciculteur</u></b>                                                            |                                                                                   |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Nom :                                                                                                   | N° de pièce :                                                                     |  |  |
| Prénoms :                                                                                               | Niveau d'étude : Aucun <input type="checkbox"/> Primaire <input type="checkbox"/> |  |  |
| Contact :                                                                                               | Secondaire <input type="checkbox"/> Universitaire <input type="checkbox"/>        |  |  |
| Age : 18-35 <input type="checkbox"/> 36-50 <input type="checkbox"/> 51 et plus <input type="checkbox"/> |                                                                                   |  |  |
| Sexe : M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>                                            | Profession :                                                                      |  |  |

| <b><u>Propriété</u></b>         |                                      |                |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Privée <input type="checkbox"/> | Coopérative <input type="checkbox"/> | Autres : ..... |

| <b><u>Etat des étangs</u></b>        |                                    | <b><u>Nombre d'étangs</u></b> |                                |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| En activité <input type="checkbox"/> | Abandonné <input type="checkbox"/> | Total :                       | En activité :      Abandonné : |

| <b><u>Types de pisciculture</u></b> |                                         |                                    |                |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Intensive <input type="checkbox"/>  | Semi intensive <input type="checkbox"/> | Extensive <input type="checkbox"/> | Autres : ..... |

| <b><u>Types d'étang</u></b>           |                                     | <b><u>Source d'eau : .....</u></b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| En déviation <input type="checkbox"/> | de barrage <input type="checkbox"/> |                                    |

| <b><u>Espèces de poissons élevées</u></b> |                                 |                                  |                                    |                |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Carpe <input type="checkbox"/>            | Silure <input type="checkbox"/> | Tilapia <input type="checkbox"/> | Mâchoiron <input type="checkbox"/> | Autres : ..... |

| <b><u>Activités environnantes ou associées</u></b> |                                              |                                             |                |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|
| Riziculture <input type="checkbox"/>               | Cultures maraichère <input type="checkbox"/> | Cultures de rentes <input type="checkbox"/> | Autres : ..... |

| <b><u>Pratiques alimentaires</u></b> |                                                  |                |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|
| Granulés <input type="checkbox"/>    | Sous-produits agricoles <input type="checkbox"/> | Autres : ..... |

| <b><u>Produits vétérinaires utilisés (pour les poissons)</u></b> | <b><u>Période de production</u></b> |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 : ..... ; 2 : ..... ; 3 : ..... ; 4 : .....                    | .....                               |

| <b><u>Méthodes de nettoyage des étangs</u></b> |                                                  |                   |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| 1- Désherbage manuel <input type="checkbox"/>  | 2- Usage des herbicides <input type="checkbox"/> | 3- Autres : ..... |

| <b><u>Si usage des herbicides lesquels ?</u></b> |          |          |          |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| 1- .....                                         | 2- ..... | 3- ..... | 4- ..... |

## *Fiche d'enquête*

|                                                                                                                                                                                       |                                            |                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b><u>Empoisonnement</u></b>                                                                                                                                                          |                                            |                                                            |
| <b><u>Enjeux économiques</u></b>                                                                                                                                                      |                                            |                                                            |
| Autoconsommation <input type="checkbox"/>                                                                                                                                             | Commercialisation <input type="checkbox"/> | Autres : .....                                             |
| <b><u>Si commercialisé :</u></b>                                                                                                                                                      |                                            |                                                            |
| Sur quel marché ? :                                                                                                                                                                   | Prix du Kg :                               | Revenu par production :                                    |
| <b><u>Difficultés rencontrées</u></b>                                                                                                                                                 |                                            |                                                            |
| Financière <input type="checkbox"/> ; Manque d'aliments <input type="checkbox"/> ; Manque d'alevin <input type="checkbox"/> Commercialisation <input type="checkbox"/> Autres : ..... |                                            |                                                            |
| <b><u>Localisation des étangs</u></b>                                                                                                                                                 |                                            |                                                            |
| Région : Haut- Sassandra                                                                                                                                                              | Département :                              | Ville/ Village/Campement :                                 |
| Coordonnées GPS                                                                                                                                                                       | X :<br>Y : {                               | Altitudes :<br>Longueur :      largeur :      Profondeur : |

### Annexe 2: Matériel de terrain



Multi paramètre



Système de positionnement mondial

## Annexe 3 : Matériel d'étude microbiologique



Balance



Bain Marie



Etuve



Autoclave

## Annexe 4 : Milieux de culture utilisés

| Milieux de culture                               | Rôles                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Le bouillon Eau Peptonée<br>Tamponnée (EPT)      | Utilisé pour le pré-enrichissement et d'enrichissement des échantillons pour la recherche des salmonelles ainsi que pour la préparation des solutions mère. |
| Le bouillon Rappaport de<br>Vassiliadis (BIORAD) | Utilisé pour l'enrichissement sélectif des échantillons pour la recherche des salmonelles.                                                                  |
| La gélose Hektoen                                | Utilisé pour la recherche des salmonelles                                                                                                                   |
| La gélose Rapid staph                            | Utilisée pour la recherche et le dénombrement des Staphylocoques.                                                                                           |
| La gélose E. coli coliform<br>chromogenic        | Utilisée pour la recherche et le dénombrement d' <i>E. coli</i> .                                                                                           |
| La gélosé Bille Esculine<br>Azide (BEA)          | Elle est utilisée pour la recherche d' <i>Enterococcus</i> .                                                                                                |
| La gélose nutritive                              | Elle est utilisée pour l'isolement et la purification des colonies bactériennes                                                                             |
| Le bouillon Cœur Cervele                         | Il est utilisé pour la conservation des souches                                                                                                             |
| La gélose DNase                                  | Elle est utilisée pour la recherche de la DNase                                                                                                             |
| La gélose mannitol                               | Elle permet la mise en évidence de la dégradation du mannitol en acide lactique                                                                             |
| Le bouillon urée indole                          | Ce milieu a été utilisé pour la recherche d'uréase, d'indole et du tryptophane désaminase (TDA).                                                            |
| La semi gélose Mannitol                          | Elle permet d'étudier simultanément la dégradation du mannitol                                                                                              |

|                              |                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mobilité                     | en anaérobiose et la mobilité de la bactérie                                                                                                                      |
| La gélose Kligler Hajna      | Mise en évidence de la fermentation du glucose, du lactose d'apprécier la production ou non d'H <sub>2</sub> S et la production ou non de gaz à partir du glucose |
| La gélose Lysine de fer      | Mise en évidence la production de Lysine décarboxylase (LDC), Lysine désaminase (LDA) et H <sub>2</sub> S                                                         |
| La gélose Citrate de Simmons | Test biochimique montrant la capacité des bactéries à utiliser le citrate comme seule source de carbone                                                           |

#### Annexe 5: Appareillage de biologie moléculaire



Cuve à électrophorèse



Transilluminisateur



Micro-onde



Centrifugeuse

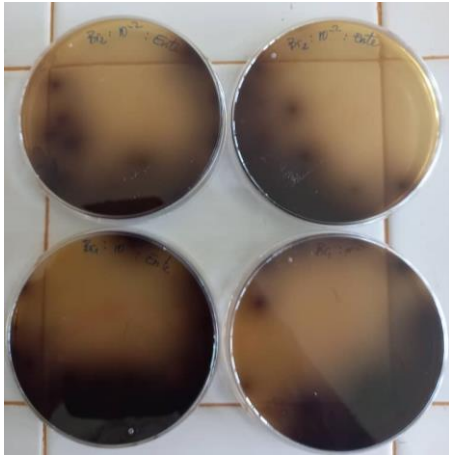


Vortex

Annexe 6: spectromètre



## Annexe 8: Aspects cultureux des germes recherchés



*Enterococcus* sur milieu BEA



*S. aureus* sur gélose Rapide Staph



*E. coli* sur gélose *E. coli* chromogene

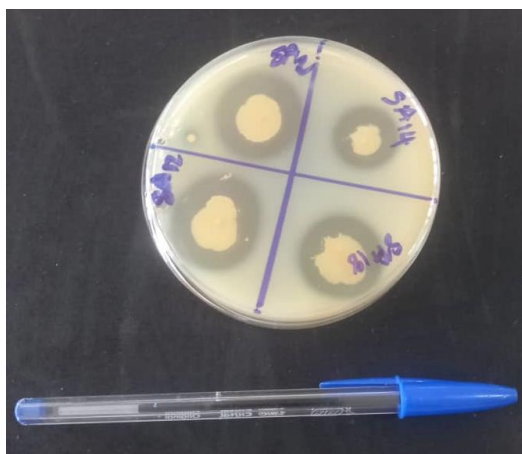
## Annexe 9: Tests d'identifications bactériennes



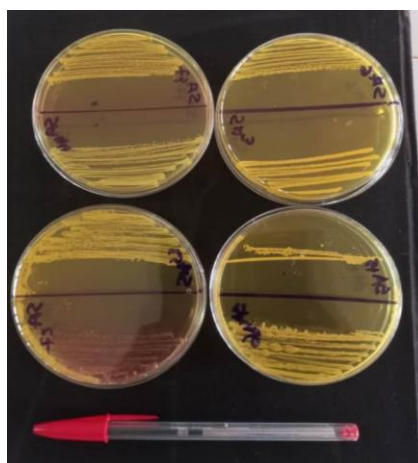
Catalase +



Portoir réduit de Leminor

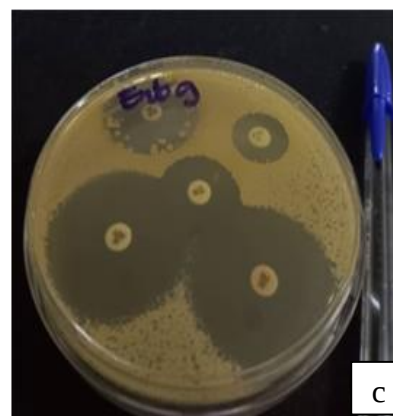
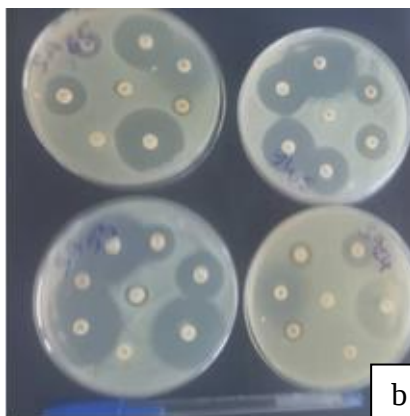
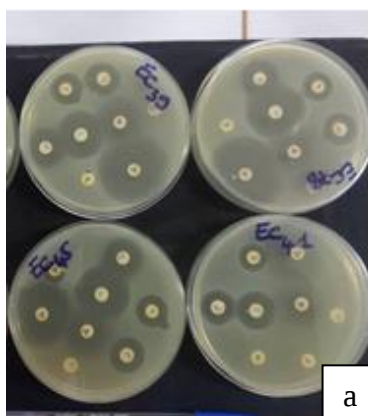


*S. aureus* sur milieu DNase



*S. aureus* sur milieu mannitol

#### Annexe 10: Boîtes de Petri illustrant l'antibiogramme des souches étudiées



a : antibiogramme des souches *E. coli* ; b : antibiogramme des souches *S. aureus* ; c : antibiogramme des souches *Enterococcus* Sp.

#### Annexe 11: Chaîne HPLC



Annexe 12: Caractéristiques phénotypique de *E coli*

| Gram | Catalase | Oxydase | Uree-indol |       | Mannitol Mobilité |     | Kliger-Hajna |     |     |     | Lysine fer |     |     | Simmons-Citrate |
|------|----------|---------|------------|-------|-------------------|-----|--------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----------------|
|      |          |         | Urée       | Indol | Man               | Mob | Glu          | Lac | Gaz | H2S | LDC        | LDA | H2S |                 |
| BG-  | +        | -       | -          | +     | +                 | +   | +            | +   | +   | -   | +/-        | -   | -   | +               |

Annexe 13: Caractéristiques phénotypique de *Salmonella*

| Gram | Catalase | Oxydase | Uree-indol |       | Mannitol Mobilité |          | Kliger-Hajna |     |     |     | Lysine fer |     |     | Simmons-Citrate |
|------|----------|---------|------------|-------|-------------------|----------|--------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----------------|
|      |          |         | Urée       | indol | Mannitol          | Mobilité | Glu          | Lac | Gaz | H2S | LDC        | LDA | H2S |                 |
| BG-  | +        | -       | -          | -     | +                 | +        | +            | -   | +   | +   | +          | +/- | -   | -               |

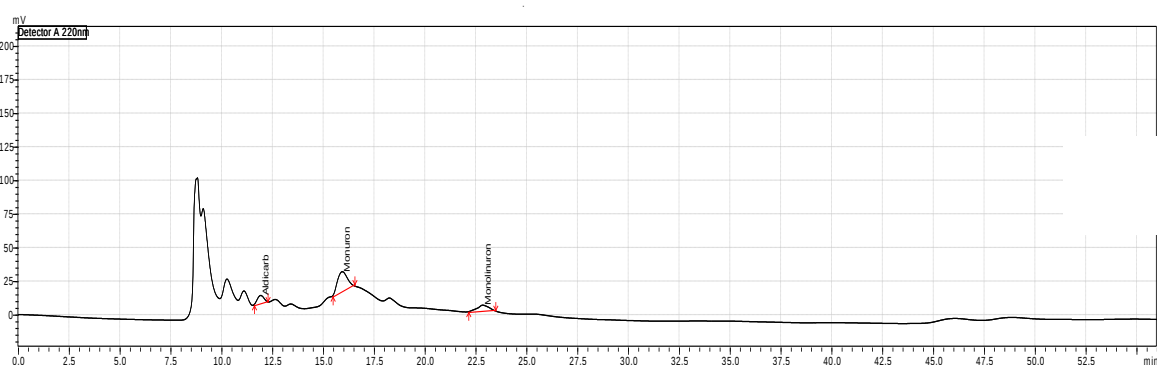
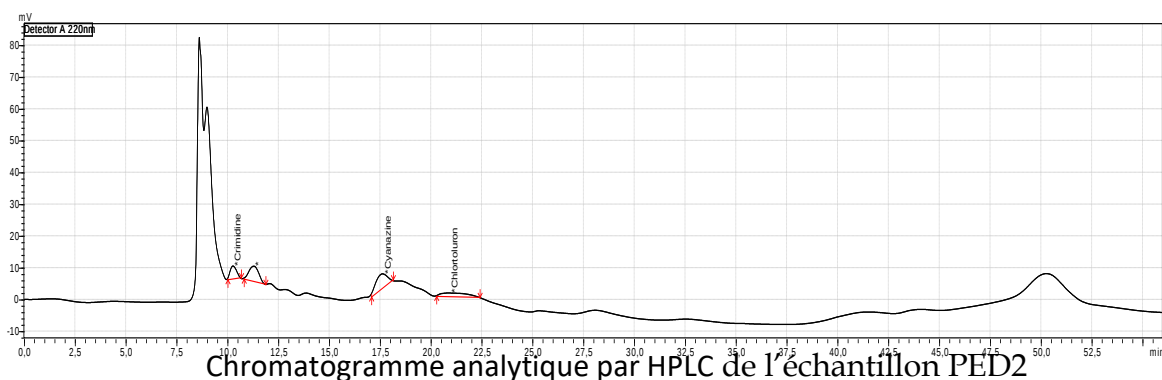
Annexe 14: Caractéristiques phénotypique de *S. aureus*

| Gram | Catalase | Oxydase | Mannitol | DNase   |
|------|----------|---------|----------|---------|
| CG+  | positif  | negatif | positif  | positif |

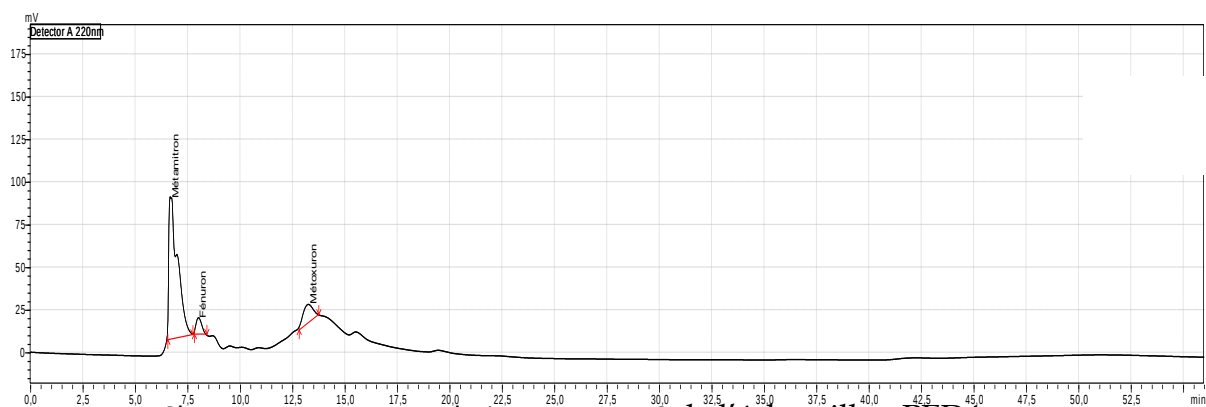
Annexe 15: Caractéristiques phénotypique de *Enterococcus* sp

| Gram | Catalase | Oxydase | Esculine |
|------|----------|---------|----------|
| CG+  | negatif  | positif | Positif  |

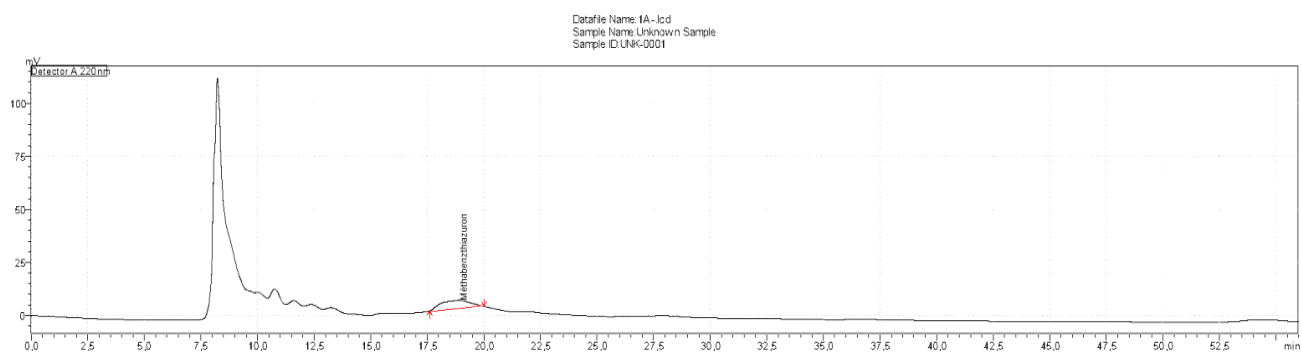
Annexe 16: Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon de poisson



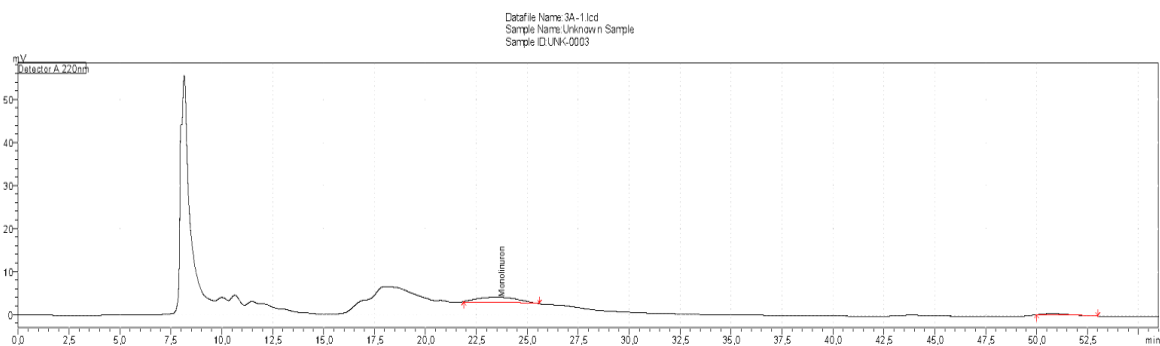
## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon PED3



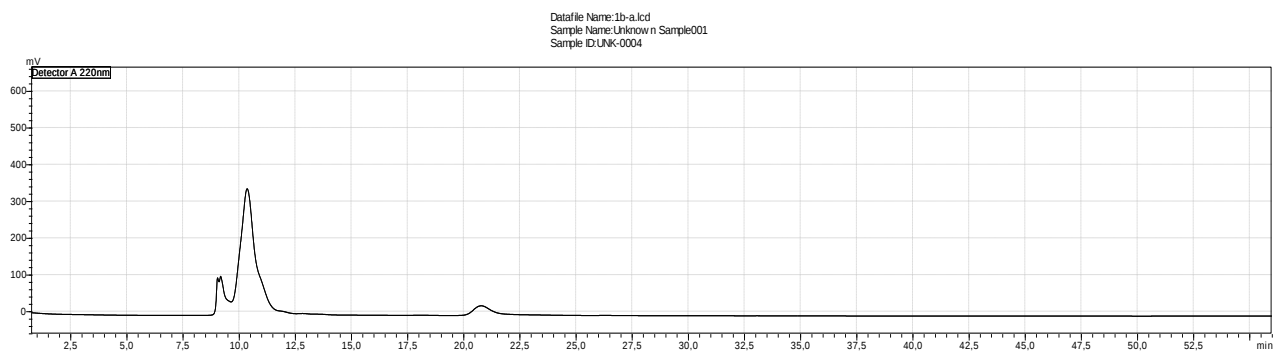
## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon PED4



## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon PED5

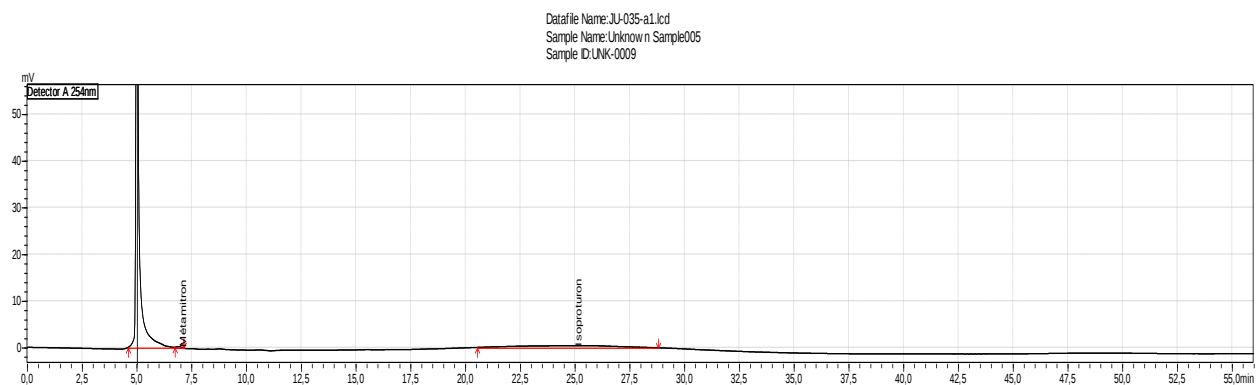


## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon PEB5

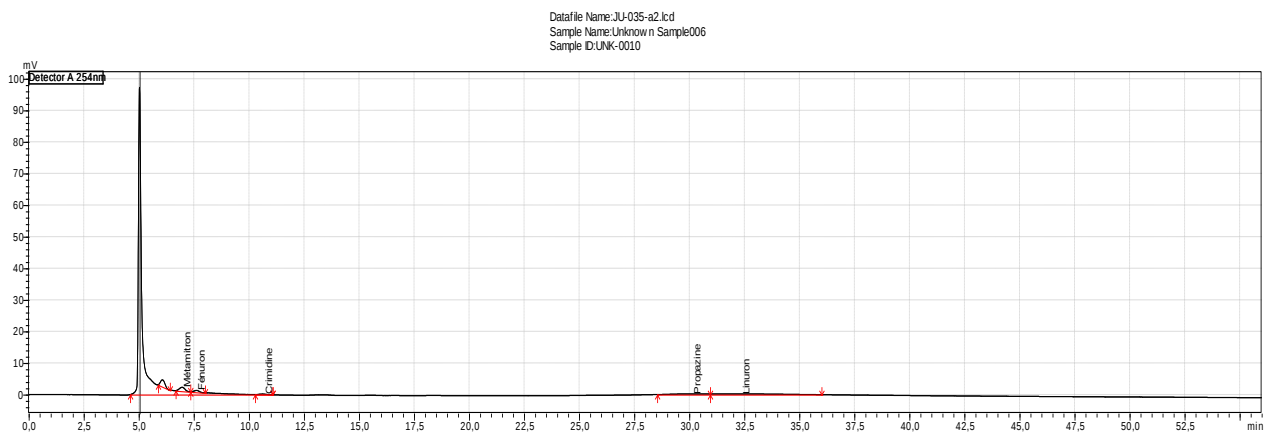


Chromatogramme analytique par HPLC de l’échantillon PEB8

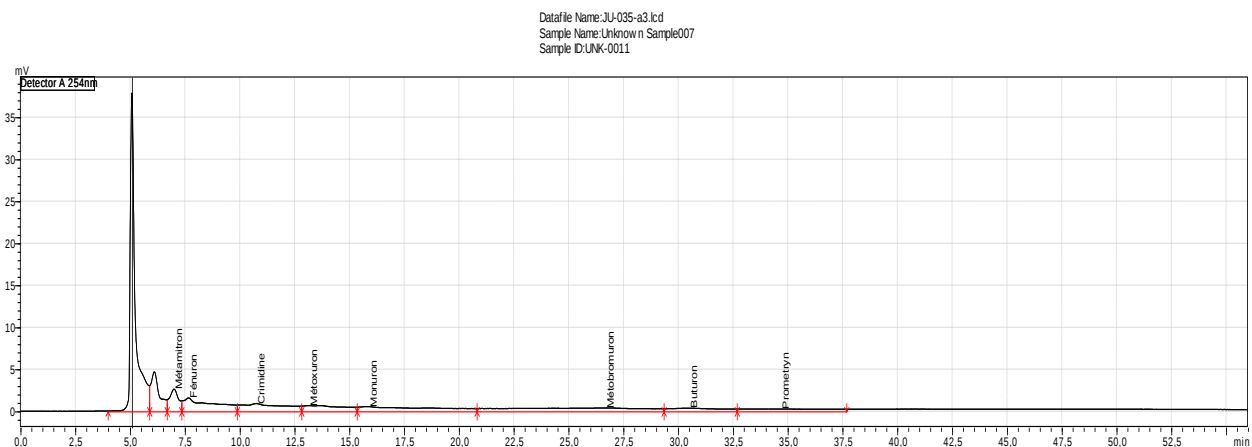
Annexe 17: Chromatogramme analytique par HPLC de l’échantillon d’eau d’étangs



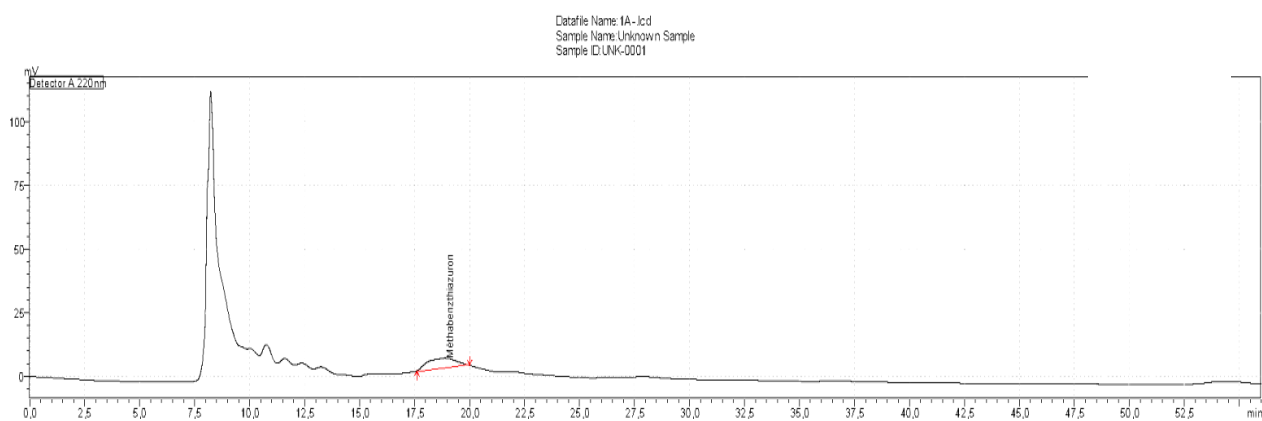
Chromatogramme analytique par HPLC de l’échantillon EED1



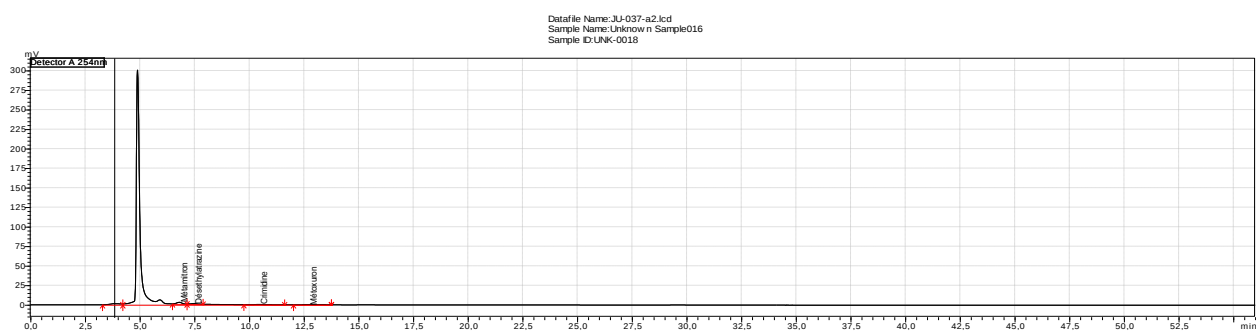
Chromatogramme analytique par HPLC de l’échantillon EED2



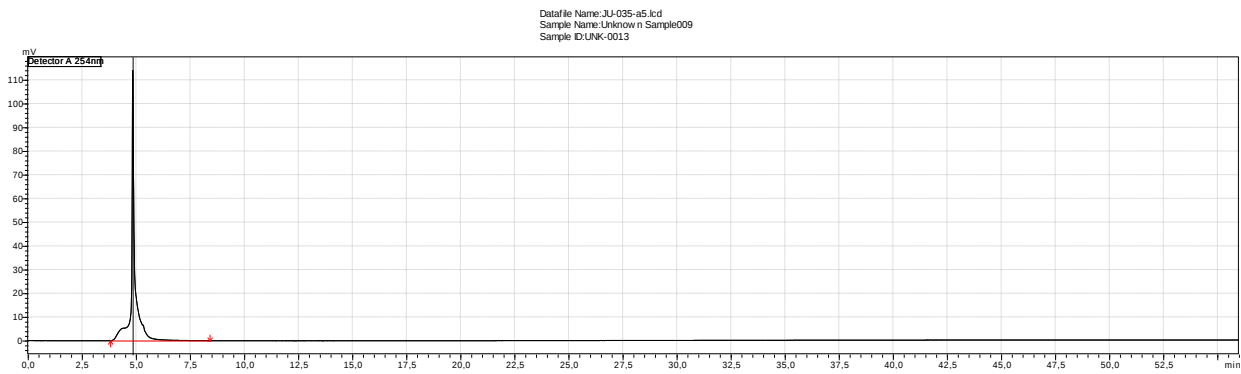
Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EED3



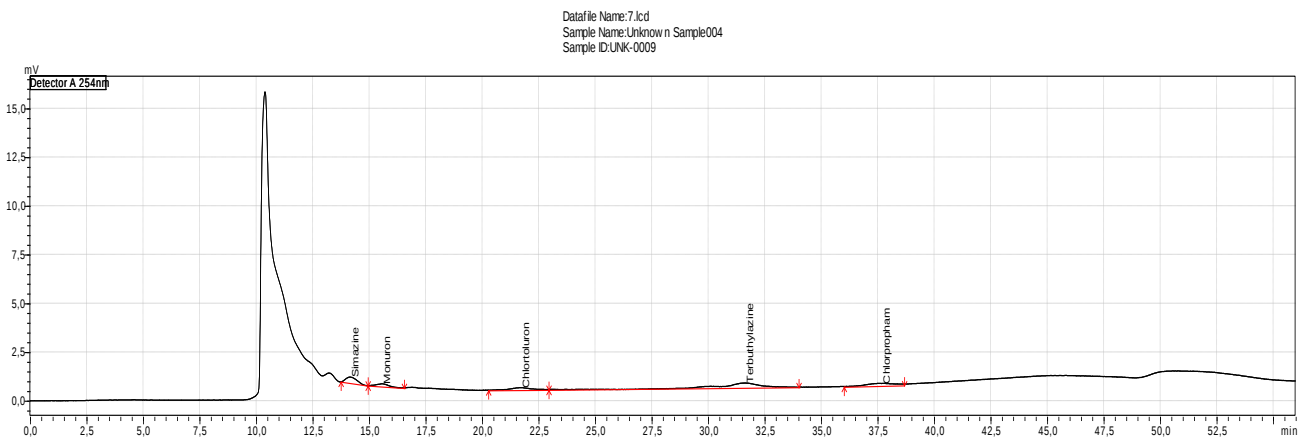
Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EED4



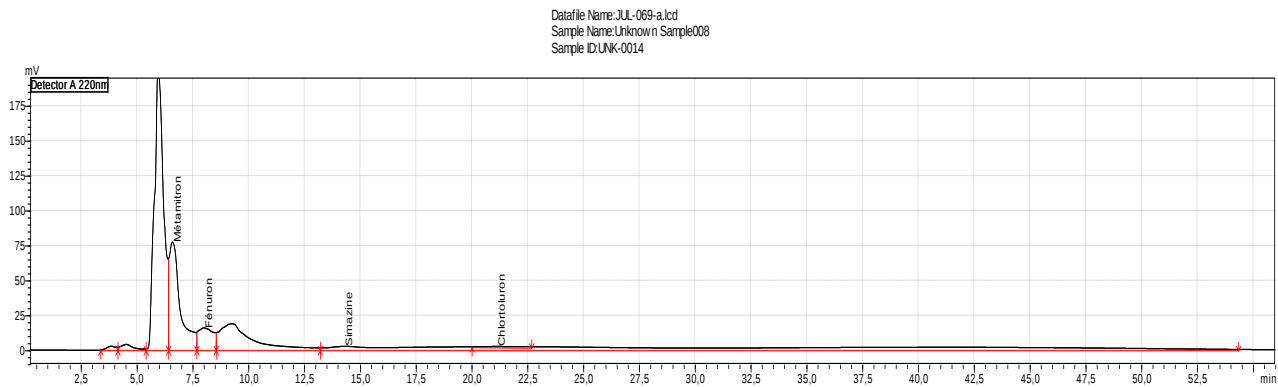
Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EED5



Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EEB8

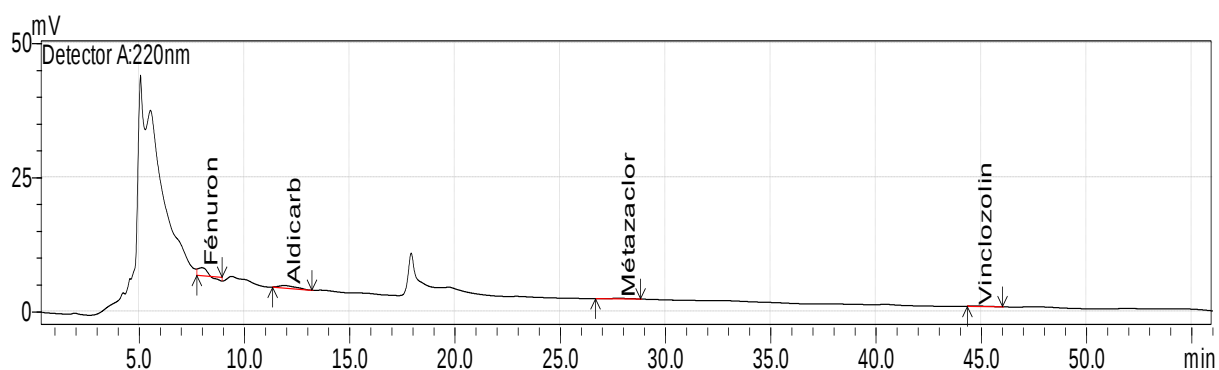


Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EED6

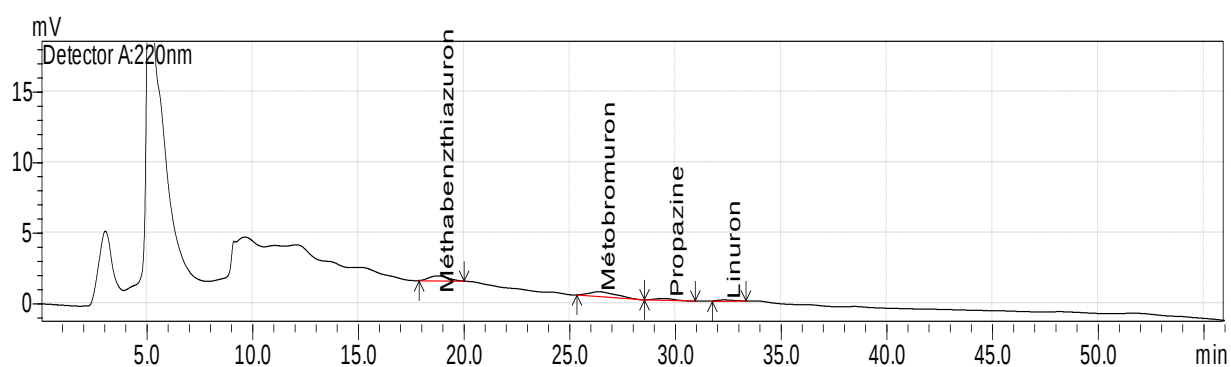


Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon EEB3

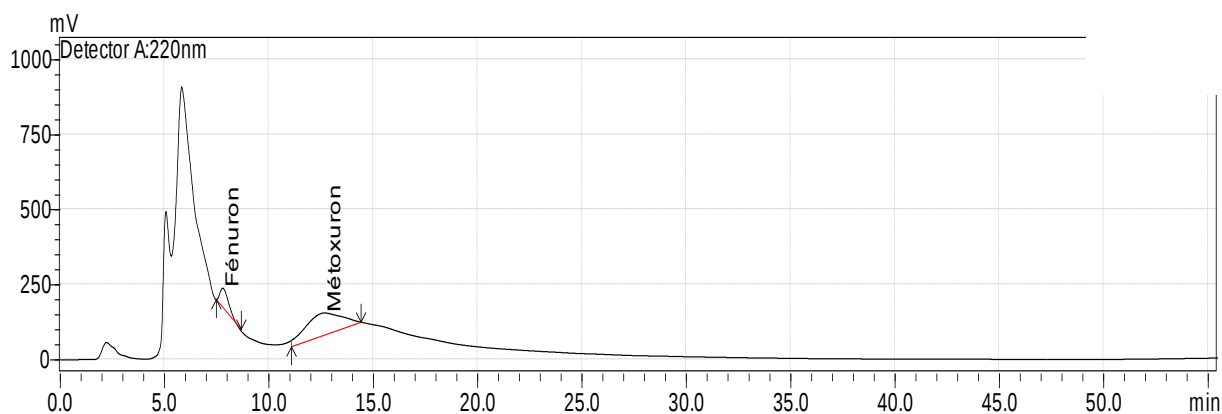
## Annexe 18: Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon de sédiments



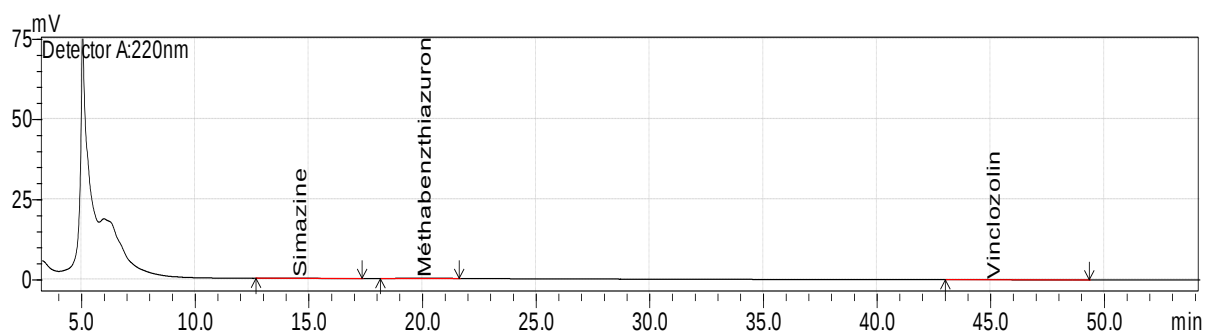
## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED1



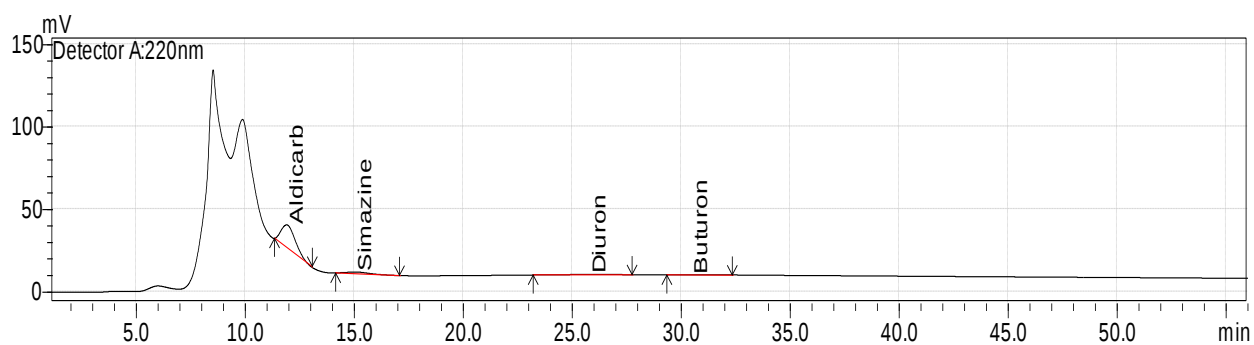
## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED2



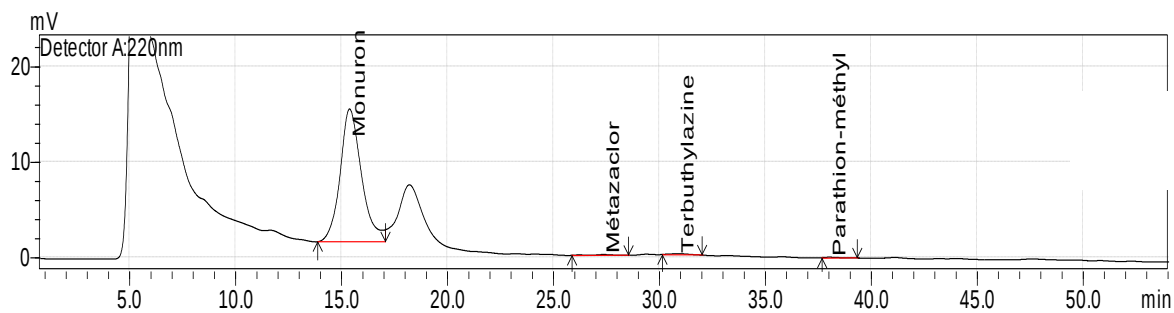
## Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED3



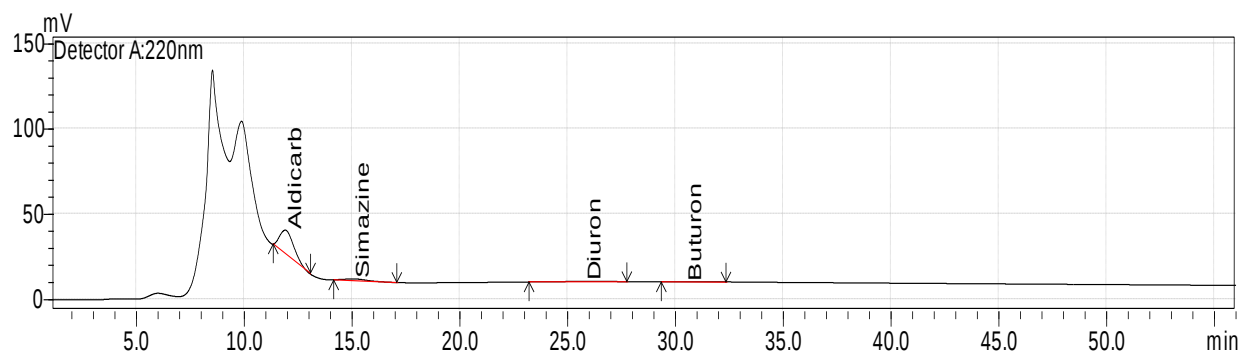
Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED4



Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED1



Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SED6



Chromatogramme analytique par HPLC de l'échantillon SEB2

## **Publications**

## **Publication 1**



# **Specific Diversity of Fish Ponds in the Haut-sassandra and Risks of Contamination by Potential Pathogens among *Oreochromis niloticus* (Tilapia)**

**Ehui Edi Jean Frejus <sup>a\*</sup>, Kouassi Kouassi Clément <sup>a</sup>,  
Kouassi Kra Athanase <sup>a</sup> and Ehouman Ano Guy Serge <sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Agroforestry Training and Research Unit, BP 150 Daloa, Jean Lorougnon Guédé University,  
Côte d'Ivoire.

## **Authors' contributions**

*This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.*

## **Article Information**

DOI: 10.9734/AJFAR/2024/v26i3748

## **Open Peer Review History:**

This journal follows the Advanced Open Peer Review policy. Identity of the Reviewers, Editor(s) and additional Reviewers, peer review comments, different versions of the manuscript, comments of the editors, etc are available here:  
<https://www.sdiarticle5.com/review-history/114188>

**Original Research Article**

**Received: 14/01/2024**  
**Accepted: 18/03/2024**  
**Published: 23/03/2024**

## **ABSTRACT**

Fishery and aquaculture products are an important source of protein in the human diet and a real source of income for producers. However, fish farming is still less well known among the Ivorian population, and does not yet benefit from technical assistance. This could have an impact on the quality of aquaculture resources. This study was therefore carried out firstly to assess the current state of fish farming in the Haut-Sassandra region, and then to evaluate contamination by potential bacterial pathogens of tilapia fish from fish ponds in this region. To this end, a survey was carried out from June to December 2022 using questionnaires. The survey consisted of direct interviews and farm visits to collect data. Tilapia fish were then sampled and analyzed. It emerged that fish farming is a fast-growing activity in the Haut-Sassandra region, but is practiced in a related way. It is mostly practiced by people aged between 35 and 50, most of whom have a primary education.

\*Corresponding author: Email: [jeanfrejusehui@gmail.com](mailto:jeanfrejusehui@gmail.com);

Females account for 2.66%. The dominant system is extensive, practiced in dam and diversion ponds where several activities coexist. In this region, 100% Tilapia (*Oreochromis niloticus*), 21% Cameroon (*Heterotis niloticus*) and 48% Catfish (*Clarias gariepinus*) are found on all farms. Of the two pond types, the barrage ponds had the best characteristics. Microbiological analyses revealed the presence of potentially pathogenic species, notably *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* *Salmonella* spp and *Enterococcus* in tilapia from these fish ponds. Fish farming is a fast-growing activity, but it needs special attention to meet the needs of the Ivorian population.

**Keywords:** Fish ponds; fish; microorganisms; *Escherichia coli*; *Salmonella*; tilapia; fish production; *Clarias gariepinus*; agricultural production.

## 1. INTRODUCTION

Meeting the needs for aquaculture resources has become a major challenge throughout the world, particularly in developing countries. Aquaculture production in sub-Saharan Africa remains low despite many years of practice [1]. The country has over 1000 fish farms from a total exploited area of 750 hectares [2]. In 2020, the total annual national aquaculture production was estimated at 3750 tonnes and this was not enough for the national annual consumption which was estimated at 286,000 tonnes [3,4]. Currently, Ivorian fish farming only provides nearly 5% of national fish production [5].

To increase production and cover its needs, Côte d'Ivoire, through the "FISH4ACP" project of the Food and Agriculture Organization (FAO), wanted to increase investments in fish farms for upscaling tilapia production (*Oreochromis niloticus*) to 68,000 tonnes by 2031 compared to the current 3,500 tonnes [6]. The Haut-Sassandra region, although being a large agricultural production area, is also known for its potential in fish production [7]. Fish production in the Haut-Sassandra region was 236.72 tonnes in 2013 [2]. However, this fish production only covers 6.32% of local consumption estimated at 4000 tonnes [1]. The main species produced in fish ponds are Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), catfish (*Clarias gariepinus*) and Cameroon (*Heterotis niloticus*).

In Côte d'Ivoire, the fish farming sector does not always benefit from qualified assistance. whatever the type of water supply, fish ponds are strongly influenced by the anthropogenic activities of local populations. They misuse pesticides in agricultural activities [8]. The World Health Organization also reports that nearly 250,000 people die every year worldwide as a result of pesticide poisoning. [9]. What's more, in breeding ponds, uneaten food and metabolites released by captive fish could accumulate in the

sediments, providing a good source of nutrients for the various bacteria found there. Furthermore, the penetration of rain and the deposition of soil particles and organic matter into ponds by runoff could lead to biological pollution of the water, which would contaminate the fish [10]. Agricultural effluents, waste and urban discharges contaminate the aquatic environment with antibiotic-resistant pathogenic bacteria that damage fish stocks [11]. The presence of pathogenic bacteria in fish resources can lead to foodborne infections and cause serious health problems to humans. In 2016, 13.4% of food-borne outbreaks in Europe originated from aquatic products. The main bacterial agents responsible for these food-borne outbreaks were *Salmonella* and *Vibrio parahaemolyticus*. [12]. Some studies in sub-Saharan Africa have noted microbial contamination of aquaculture resources in Zimbabwe, the Democratic Republic of Congo and Mali [13,14]. their work has highlighted the contamination by bacterial pathogens and the risks of infection of populations. In Côte d'Ivoire, studies have also shown the contamination of aquatic fish by pathogenic bacterial strains of aquaculture resources, notably fish [15,16]. The most fish species heavily affected are *Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon melanoteron*, *Sardinella maderensis* and *Chrysichthys nigrodigitatus*. The potentially pathogenic bacteria responsible for contaminating the aquatic fish were *Escherichia coli*, *Vibrio parahemolyticus*, *Salmonella* and *Pseudomonas*.

Despite the risks of various types of contamination of fish ponds as a result of agricultural and other anthropogenic activities, and the problem of sanitary quality of the resources derived from these ponds, very little scientific data exists on these ponds and their production in Côte d'Ivoire. This observation justifies this study, the general aim of which is to establish a typology of the various ponds and to

assess contamination of the main resources by potential bacterial pathogens.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Collection of Data from fish Farmers

A survey of fish farmers was carried out to assess the current state of fish farming in the Haut-Sassandra region. It consisted of direct interviews and farm visits. The survey provided detailed information on fish farming structures and systems, as well as associated or surrounding activities that could have an impact on fish farming practices. A total of 150 fish farmers were selected with the help of fish farming cooperatives in the Haut-Sassandra region. Following this survey, farms likely to be contaminated by anthropogenic activities were selected for microbiological analysis.

### 2.2 Sampling

Fish were collected randomly according to the method described by [3], fish were collected per pond under usual fishing conditions using a normal net. A fish sample taken from a pond consists of seven mature tilapia fish. Once collected, the samples are placed in carefully labeled stomacher bags and stored in iceboxes. All samples are sent directly to the microbiology laboratory for analysis. Once at the laboratory, samples are immediately analyzed within a few hours. A total of twenty (20) samples of tilapia fish were collected, including four (04) from fish farming cooperatives in Haut Sassandra. The choice of tilapia was based on the results of the survey, which showed that this species is the main fish farming resource in the region.



Fig. 1. Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) samples

### 2.3 Microbiological Analysis of Fish Samples

#### 2.3.1 Preparation of samples for analysis

Once in the laboratory, fish samples undergo pre-treatment. This involves dissection using a knife and forceps. Dissecting equipment is sterilized in 75% ethyl alcohol. Fresh fish are also cleaned with 75% alcohol. Analysis is carried out on gills and viscera. The gills are cut off at the insertion point, and the required quantity is then removed. As for the viscera, an opening is made between the pelvic fin and the anal fin using the knife, then the viscera are removed and the required quantity (25 g) is taken (Fig. 2). A quantity of 25 g of each part to be analyzed (gills and viscera) is homogenized in 225 ml of sterile buffered peptone water previously prepared in accordance with standard NF V08-010. Decimal dilutions are made in accordance with standard [17].



A- gill removal



B- viscera removal

Fig. 2. Removal of fish viscera and gills

### 2.3.2 Microbial enumeration

A quantity of 0.1 mL of each decimal dilution retained was placed in Petri dishes containing 20 mL of each agar previously prepared and poured. These agars were prepared according to the manufacturers' instructions mentioned on the different boxes. These are Rapid E. coli 2 agar for the detection of *Escherichia coli*, Bile Aesculine Azide (BEA) for the detection of *Enterococcus* sp and Rapid Staph for *Staphylococcus aureus*. This quantity is spread on the surface of each agar using a sterile spreader. The inoculated plates are incubated at 37°C for 24 to 48 hours. The number of germs per gram of product N (estimate of the microbial population) was calculated according to equation 1.

$$N \text{ (UFC/g)} = \frac{\sum C_i}{(n_1 + 0.1n_2) d \cdot V} \quad \text{Equation 1}$$

N (CFU/g): Number of germs per gram of product;

$\sum C_i$ : Sum of colonies counted on all plates retained from successive dilutions;

V: Volume of inoculum applied to each plate (in ml);

$n_1$ : Number of boxes retained at the first dilution considered;

$n_2$ : Number of boxes retained at the second dilution considered;

d : Dilution factor corresponding to the first dilution retained.

### 2.3.3 Detection and isolation of *Salmonella* ssp.

The detection of *Salmonella* ssp. was carried out according to stipulated standard procedure [18] which involved 4 steps namely pre-enrichment in Buffered Peptone Water broth, selective enrichment in Vassiliadis Rappaport broth, isolation on Héktoen medium and identification using the Leminor Reduced Rack.

### 2.3.4 Statistical analysis

The data collected during the survey was entered, processed and analyzed using SPHINX-LEXICA software. Excel was used to plot the curves. Microbial flora data were subjected to

descriptive analysis using STATISTICA 7.1 software.

## 3. RESULTS

### 3.1 Sociodemographic Profile of Fish Farmers

The study found that out of 150 fish farmers surveyed, only two (2) were practicing fish farming as their main activity while the rest (148) were mostly crop farmers civil servants and businesspersons as shown in Table 1. The dominant age group was 36-50 years old followed by the elderly (over 50 years old) and mostly having a primary school level. The female gender is less represented with 2.67%. These farms are generally privately owned.

### 3.2 Production Systems

Two fish production systems were observed in Haut-Sassandra. This is the extensive system observed on 80% of the farms surveyed and semi-intensive on the remaining 20% (Fig. 3). These systems are practiced in two types of ponds : dam ponds and diversion ponds. Of these two systems, the extensive system is the most practiced in dam ponds and in rural areas. As for the semi-intensive system, it is exclusively observed in diversion ponds and particularly in urban and peri-urban areas.

### 3.3 Distribution of Ponds in the Haut-Sassandra Region

Dam ponds and diversion ponds are observed throughout the Haut-Sassandra region. Of the 150 fish farms visited, 132 contain diversion ponds and 45 contain dam ponds. However, diversion ponds are more observed in peri-urban and urban areas (59%) than in rural areas (41%). On the other hand, dam ponds are more observed in rural areas (80%) than in peri-urban and urban areas (20%). We often note the presence of these two types of ponds on the same farm (Fig. 4).

### 3.4 Activities Associated with Fish Farming

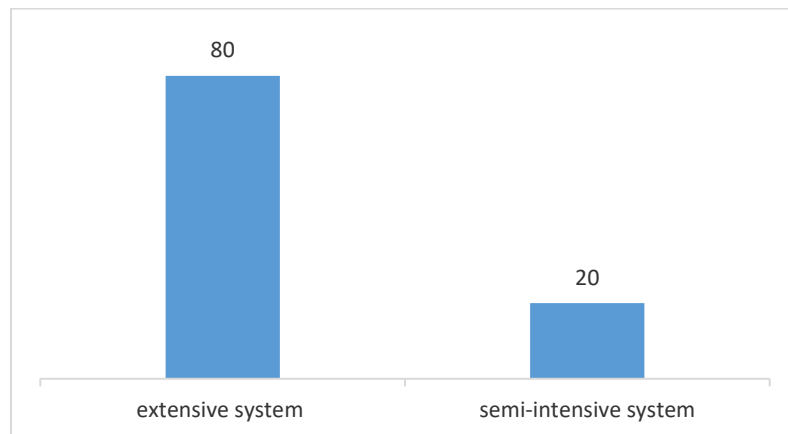
Ponds are sometimes the place where several activities coexist. Indeed, fish farming is sometimes associated with rice farming, giving it the name rice-fish farming. This activity is

encountered in dammed ponds. The rare dam ponds using this system are only found in rural areas (Bediala, Iuenoufla). In fact, out of 45 dam ponds visited and surveyed, only 6 practice rice-

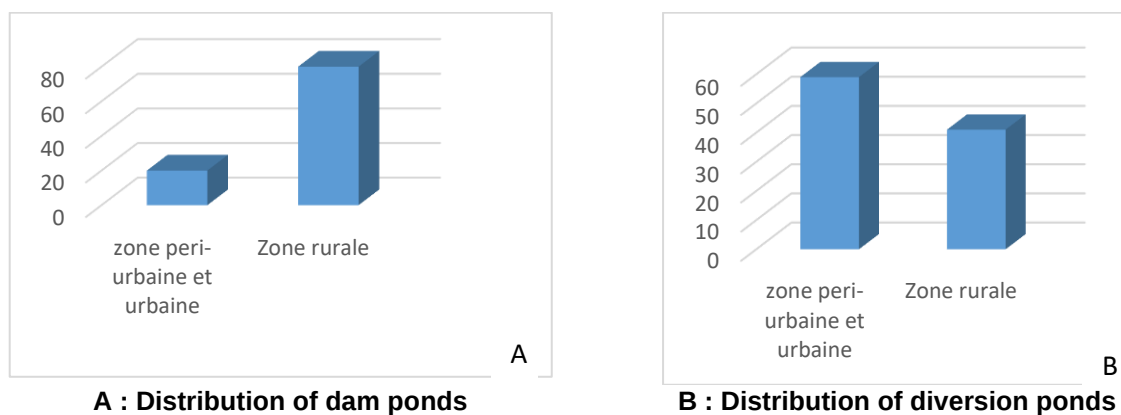
fish farming, or 13% (Fig. 5). However, the diversion ponds do not have any associative activities but the fish farmers are considering rice farming.

**Table 1. Sociodemographic profile of fish farmers in Haut-Sassandra**

| Settings      |                      | Number | Percentage (%) |
|---------------|----------------------|--------|----------------|
| Sex           | Male                 | 146    | 97,33          |
|               | Female               | 4      | 2,67           |
| Ages (years)  | ≤ 18 years old       | 0      | 0              |
|               | 19-35 years old      | 9      | 6              |
|               | 36 -50 years old     | 81     | 54             |
|               | ≥ 50 years old       | 60     | 40             |
| Level study   | Unschool             | 48     | 32             |
|               | Primary              | 63     | 42             |
|               | Secondary            | 25     | 16,66          |
|               | University           | 14     | 9,33           |
| Activity main | Fish farming         | 2      | 1,33           |
|               | Agriculture/ Planter | 117    | 78             |
|               | Official             | 4      | 2,66           |
|               | Trade                | 14     | 9,33           |
|               | Household            | 4      | 2,66           |
|               | Employee             | 9      | 6              |



**Fig. 3. Fish production systems in Haut-Sassandra**



**Fig. 4. Distribution of ponds in the Haut-sassandra region**

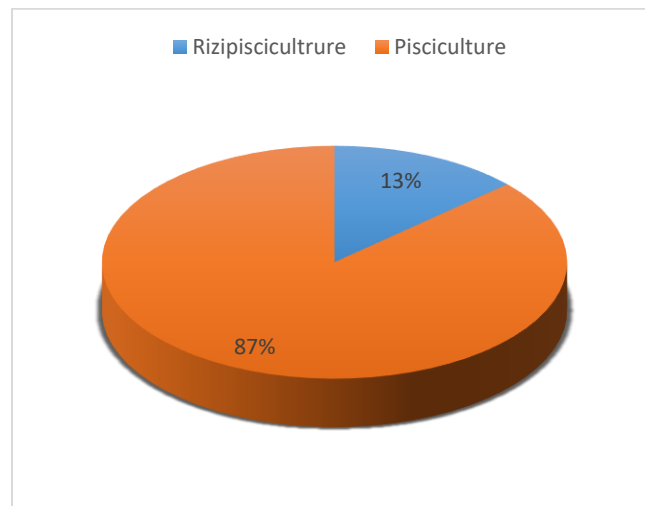


Fig. 5. Activities associated with fish farming in dam ponds

Table 2. Activities surrounding fish ponds

| Activities surrounding | % in dammed ponds | % in diversion ponds |
|------------------------|-------------------|----------------------|
| Cashew Rice Farming    | 33                | 10                   |
| Heveaculture           | 30                | 25                   |
| Cacao-culture          | 26                | 22                   |
| Habitats               | 11                | 8                    |
| Vegetable grower       | 0                 | 25                   |
|                        | 0                 | 18                   |

Table 3. Different species of fish raised in the ponds of Haut-Sassandra

| Name scientist               | Name vernacular | % in dammed ponds | % in diversion ponds |
|------------------------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| <i>Oreochromis niloticus</i> | Tilapia         | 100%              | 100%                 |
| <i>Heterotis niloticus</i>   | Cameroun        | 5%                | 25%                  |
| <i>Clarias gariepinus</i>    | Catfish         | 57%               | 29%                  |

Table 4. Contaminants of tilapia from diversion ponds in the Haut-Sassandra Region

| sample   | <i>Escherichia coli</i> |           | <i>S. aureus</i>      |           | <i>Enterococcus sp</i> |      | <i>Salmonella sp</i> |      |
|----------|-------------------------|-----------|-----------------------|-----------|------------------------|------|----------------------|------|
|          | Viscera                 | Gill      | Viscera               | Gill      | Viscera                | Gill | Viscera              | Gill |
| 1        | 70±14.14                | 80±56.56  | 20±28.28              | 0±0       | -                      | +    | -                    | +    |
| 2        | 130±0                   | 20±0      | 25±35.35              | 15±21.21  | +                      | +    | +                    | -    |
| 3        | 0±0                     | 0±0       | 5±7.07                | 10±14.14  | -                      | +    | -                    | -    |
| 4        | 0±0                     | 0±0       | 10±14.14              | 30±0      | -                      | +    | -                    | +    |
| 5        | 0±0                     | 70±42.42  | 10±0                  | 0±0       | -                      | +    | -                    | -    |
| 6        | 0±0                     | 25±35.35  | 25±0                  | 35±49.49  | +                      | +    | -                    | -    |
| 7        | 0±0                     | 0±0       | 20±14.14              | 0±0       | -                      | +    | -                    | -    |
| 8        | 0±0                     | 5±7.07    | 0±0                   | 0±0       | -                      | +    | -                    | -    |
| 9        | 0±0                     | 0±0       | 0±0                   | 10±14.14  | +                      | -    | +                    | +    |
| 10       | 0±0                     | 0±0       | 0±0                   | 25±7.07   | -                      | +    | -                    | -    |
| 11       | 0±0                     | 0±0       | 0±0                   | 5±7.07    | -                      | +    | +                    | -    |
| 12       | 0±0                     | 0±0       | 55±77.78              | 70±14.14  | -                      | -    | -                    | -    |
| Mean     | 6.91±1.16               | 16.6±11.7 | 12±                   | 16,6 ± 10 |                        |      | -                    |      |
| Standard | 10 <sup>2</sup> UFC/g   |           | 10 <sup>2</sup> UFC/g |           | Abs/25g                |      | Abs/25g              |      |

(+) : Presence of microorganisms; (-) : Absence of microorganisms ; Abs = Absence

**Table 5. Contaminants of tilapia from dam ponds in the Haut-Sassandra Region**

| sample   | <i>Escherichia coli</i> |        | <i>S. aureus</i>      |          | <i>Enterococcus</i> sp |      | <i>Salmonelle</i> sp |      |
|----------|-------------------------|--------|-----------------------|----------|------------------------|------|----------------------|------|
|          | Viscera                 | Gill   | Viscera               | Gill     | Viscera                | Gill | Viscera e            | Gill |
| 1        | 0±0                     | 0±0    | 30±14,14              | 15±21,21 | +                      | -    | -                    | -    |
| 2        | 0±0                     | 0±0    | 60±84,85              | 25±35,35 | +                      | +    | -                    | -    |
| 3        | 0±0                     | 0±0    | 0±0                   | 10±14,14 | -                      | +    | -                    | -    |
| 4        | 0±0                     | 0±0    | 5±7,07                | 5±7,07   | -                      | -    | -                    | -    |
| 5        | 0±0                     | 0±0    | 0±0                   | 10±14,14 | -                      | +    | -                    | -    |
| 6        | 0±0                     | 0±0    | 5±7,07                | 0±0      | -                      | -    | -                    | -    |
| 7        | 0±0                     | 5±7,07 | 0±0                   | 0±0      | +                      | -    | -                    | -    |
| 8        | 0±0                     | 0±0    | 0±0                   | 0±0      | +                      | -    | -                    | -    |
| Mean     | 0±0                     | 0,62±  | 12.5±                 | 5,41±    |                        |      |                      |      |
| Standard | 10 <sup>2</sup> UFC/g   |        | 10 <sup>2</sup> UFC/g |          | Abs/25g                |      | Abs/25g              |      |

(+) : Presence of microorganisms; (-) : Absence of microorganisms ; Abs = Absence

### 3.5 Surrounding Activities

Various activities are practiced around the ponds of the upper Sassandra region. These include rice growing, cash crops and sometimes market gardening. Of all these activities, cashew plantations are closest to dam ponds, followed by rice growing and rubber growing. Cocoa cultivation occupies last place with a rate of 11%. Unlike dammed ponds, rice cultivation occupies first place in diversion ponds followed by rubber cultivation and market gardening. We also note the habitats in peri-urban areas which, if classified as an activity, would occupy first place with rice growing. (Table 2).

### 3.6 Farmed Fish Species

Three species of fish are found on fish farms. These are the species *Oreochromis niloticus* (Tilapia) commonly called carp, *Heterotis niloticus* (Cameroon) and *Clarias gariepinus* (Catfish). Tilapia fish occupies first place because it is present on all farms, followed by catfish and finally Cameroon fish which comes in third position (Table 3). Catfish owe their second place to nature because their presence is not at the whim of fish farmers.

### 3.7 Evaluation of Microbial Pathogens in the Viscera and Gills of Fish from some Ponds in the Haut-Sassandra Region

#### 3.7.1 Diversion ponds

The microbiological analysis carried out on the fish (Tilapia) from the diversion ponds revealed

the presence of the various pathogens sought. These pathogens are present at loads lower than the standards for those of health 2 (*E. Coli* and *S. aureus*). Of the two parts analyzed, the gills are the most loaded. However, *enterococcus* are more present in the gills than the viscera. Out of 12 samples analyzed, only 2 viscera contain *E. coli* against 5 gills. It is the same for the *S. aureus* (Table 4).

#### 3.7.2 Dam ponds

The analysis of the viscera and gills of fish from dam ponds showed a total absence of *E. Coli*. The presence of *S aureus* in the viscera and gills is a reality that this study has just revealed. However, they are present with loads lower than the standard. As for *salmonella*, an absence is observed in the viscera and gill (Table 5).

## 4. DISCUSSION

Fish farming is a booming activity in the Haut-Sassandra region. However, it is practiced as an adjunct to other activities, and by people aged between 35 and 50. This could be explained by the lack of resources (financial and technical), difficult access to spaces and above all the desire of young people for bureaucracy. These observations are similar to those of [19,20,21]. According to the latter, this situation is due to the fact that access to the fish farming profession remains more open to people who have land, a certain financial autonomy and a workforce. In the city of Brazzaville (Republic of Congo), this activity is mainly practiced by men (95%) aged

50 [22]. Thus, fish farming is an exclusively male activity. This study showed that the female gender was represented at 2.67%. These results corroborate those of [23,24] who observed 2.89% and 2.6% respectively. According to these authors, the non-involvement of women is explained by the arduousness of the tasks, societal constraints (inaccessibility of land by women, lack of time) and economic constraints. The rare women who practice this activity generally do so through inheritance [25]. Furthermore, for these same authors, the majority of these fish farmers have a primary level. These results are close to ours with a rate of 42%. These results differ from those of [20]. Indeed, these authors showed that in the city of Abidjan, the majority of fish farmers have a higher level of education. In Congo, [26] on the other hand, showed that the majority of fish farmers have a secondary level (55%). If fish farming is constantly emerging in Haut-Sassandra, it must be emphasized that it remains a related activity. Indeed, the survey showed that fish farmers are 78% planters and farmers. This dominance by planters and farmers could be explained by land ownership and a modest financial state. Similar results were observed in Cameroon by [27]. On the other hand, in Benin, [28] affirm that fish farming is a main activity for 32,5.

In Haut-Sassandra, two production systems were observed. This is the extensive system used on 80% of farms (mainly in rural areas) and the semi-intensive system (mainly in urban and peri-urban areas). The dominance of the extensive system could be explained by the lack of industrial feed, fry and especially the financial problems hence the use of agricultural by-products (rice bran, corn, cassava skin, rice stalks, etc.) for fish feeding. In Gontougo, east of the Ivory Coast [29] showed the dominance of this system in fish farming. Similar results were observed in Oued Righ, an Algerian region by [30]. However, the south of Côte d'Ivoire is dominated by an intensive system [31]. The different 10 systems are used in two types of ponds including dam ponds more present in rural areas and diversion ponds in urban and peri-urban areas. According to [23], these two structures are the most encountered in Côte d'Ivoire. However, we observe a fish farming system integrated into agriculture and this only in the dam ponds taking the name of rice-fish farming. This system is, according to fish farmers, less expensive because the stems of the rice plants will be used to feed the fish,

reducing thermal shock caused by the sun. Similar results were observed by [1], which shows the presence of this system in Haut-Sassandra. We also note activities such as cashew nut growing, rice growing, rubber growing, cocoa growing around these farms regardless of the structure. In the Menoua department of Cameroon, the surrounding crops are, in order of importance, beans, banana-plantain, macabo/taro, peanuts, soybeans, yams, potatoes and finally cassava. [32].

Aquaculture resources are tilapia fish (*Oreochromis niloticus*), catfish (*Clarias gariepinus*) and Cameroon (*Heterotis niloticus*). Of these three species, tilapia is the main one. This dominance is due to its ability to adapt to environmental conditions, its easier reproduction and above all its nutritional and organoleptic quality. The species *clarias* owes its existence to nature because its cultivation is not done at the discretion of the fish farmer. But its presence in the pond is sometimes used to the benefit of the fish farmer to control activity by reducing unwanted fry. These results are close to those of Anounouet al., (2016) who recorded tilapia (100%), catfish (33.33%), Cameroon (9.09%) and swallowtail (5.56%). In the bandal in Senegal, more than 16 species are bred [33] thus showing a diversity of species and more in-depth knowledge of fish farming. The different fish foods found on farms are agricultural by-products and pellets. Agricultural by-products represent a source of fish food for the majority of fish farmers surveyed, i.e. 78% in this Zone. In fact, this represents less expense for them, especially since this region has several surrounding cultures. The same is true in Congo where [24] recorded a rate of 43% of fish farmers using agricultural by-products.

In order to determine the level of contamination of fish by microbial pathogens, a microbiological analysis was carried out. The presence of the pathogens sought is a reality revealed by this study. These are *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* sp and *Salmonella* sp. This presence could be due to contamination of anthropogenic origin or the nature of their environment (water). This idea is reinforced by that of [33]. according to the latter, the aquatic environment is composed of pathogenic bacterial species originating from water pollution by sick subjects or healthy carriers that it contains. [34] confirm this result during their study on rivers in Yaoundé in Cameroon where they showed that these Fish

production waters have a high concentration of bio-pollution indicators (*E. coli*, enterococcus, total coliform). However, for health germs 2 (*E. coli* and *S. aureus*), the charges are almost below the standards for all farms. Contrary results were observed by [35] who had higher loads. However, these charges differ depending on the ponds and the parts considered. The gills of fish in diversion ponds are heavier than those in dam ponds. This could be due to the filter function of the gills. As for the viscera, the opposite effect is observed.

Regarding the other germs sought, general dissatisfaction is observed due to their presence. Fish from diversion ponds are more loaded with enterococcus germs than those from dam ponds with loads ranging from  $5 \pm 7.07$  to  $840 \pm 339.41$  and from  $5 \pm 7.07$  to  $60 \pm 14.14$  respectively. As for salmonella, a total absence was observed in the dam ponds. These results differ from those of [1,6] (Atobla et al., 2022) who worked on smoked fish. In fact, they observed an absence of salmonella. This absence would be due to the heat treatment given to the fish. It would therefore be interesting to cook the fish well before consumption.

## 5. CONCLUSION

The aim of this study was to assess contamination by potential bacterial pathogens of fish farming resources in the Haut Sassandra region, an area of high fish production in Côte d'Ivoire. To do this, a good knowledge of the activity was necessary. This study has shown that fish farming is an important activity for the Haut-Sassandra region. However, special attention needs to be paid to this activity. Fish farming takes place in a favorable environment. Fish farming is carried out in dam ponds and bypass ponds. Microbiological analyses have revealed the presence of potentially pathogenic species, notably *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp and *Enterococcus* in the viscera and gills of tilapia (*Oreochromis niloticus*), the main resource of these fish ponds. However, dam ponds provide greater assurance of the microbiological quality of the tilapia they contain, due to their low load of these microbial pathogens. It would therefore be imperative to carry out molecular studies to verify the ability of these microorganisms to cause disease.

## COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

## REFERENCES

1. Miller J, Le potentiel de développement de l'aquaculture et son intégration avec l'irrigation dans le contexte du Programme spécial de la FAO pour la sécurité alimentaire dans le Sahel. Dans Halwart M, van Dam AA. (éds). Intégration de l'irrigation et de l'aquaculture en Afrique de l'Ouest: concepts, pratiques et perspectives d'avenir. Rome, FAO. 2010; 65–79.
2. Mirah. Strategic plan for the development of livestock, fishing and aquaculture in Ivory Coast (PSDEPA 2014-2020), Abidjan (Ivory Coast); 2014.
3. Coulibaly S, Bonhoulou R, Ossey YB, Atse BC. Comparative study of the marketing and consumption of tilapia raised in Ivory Coast and imported from China. African Agronomy. 2019;(8):18–22.
4. Amian AF, Wandan EN, Blé MC, Vanga AF, Assi-Kaudhjis PJ. Etude des déterminants socioéconomiques et techniques de la pisciculture extensive en Côte d'Ivoire. European scientific journal. 2017;(13):1857-7881.
5. FAO, EU, CIRAD. Profile of food systems – Ivory Coast. Activate the sustainable and inclusive transformation of our food systems. Rome, Brussels and Montpellier, France; 2022.
6. MIRAH/JICA. Project to revive continental fish production in the Republic of Ivory Coast. Final report, Ivory Coast. 2019;326.
7. Bamba V. Market and marketing of farmed fish in Ivory Coast. Author contract-Rome; 2002.
8. Keddal H, N'dri YJ. Impacts of agricultural intensification on the quality of surface water and groundwater. HTE Review; 2007.
9. Yao KS, Kouame KV, Yao KM, Atsé BC, Trokourey A, Tidou AS. Contamination, distribution and assessment of ecological risks by pesticides in the sediments of the Ebrié lagoon, Ivory Coast. Africa Science. 2018;14(6):400–412.
10. Toule AC, Adingra AA, Kouadio-N'Gbesso N, Kambire O, Koffi-Nevry R, Koussemon M. Physico-chemical and bacteriological characterizations of water from the Layo and Jacqueville aquaculture stations (Lagune Ebrié, Ivory Coast). International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2018;11(6): 2842.

11. Dabadé DS, Wolkers-Rooijackers JCM, Azokpota P, Hounhouigan DJ, Zwietering MH, Nout MJR, den Besten HMW. Bacterial concentration and diversity in fresh tropical shrimps 21. 18. 16. 7. 28. 3. 11. 12 (*Penaeus notialis*) and the surrounding brackish waters and sediment. International Journal of Food Microbiology. 2016;218:96–104.
12. EFSA & ECDC. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. EFSA Journal. 2017; 15(12):5077.
13. Itongwa JA, Banangamba E, Azine PC, Matendo ER, Mwapu I. Evaluation of the microbiological quality of fresh fish marketed in the city of Bukavu, DR Congo. Africa science. 2019;15(6):365– 373.
14. Samake F, Sanogo Y, Konate A, Diabate D, Costa KSD, Babana AH. Diversity and microbiological quality of sea fish sold in the Bamako District (Mali). International Formulae Group. All rights reserved. 2022;16(5):1887–1898.
15. Kouadio N, Dadie A, Adingra A, Ake Y, Dje K. Biotypes of *Escherichia coli* isolated from fish and water from the Fresco lagoon, Ivory Coast. Journal of Applied Biosciences. 2011;38:2523–2530.
16. Atobla K, Kouamé ND, Benié CKD, Dadié A, Niamké S. Microbiological quality of traditionally smoked fish sold in markets in abidjan, Ivory Coast. International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT). 2022;34(2):249–264.
17. NF EN ISO 6887-1. Food microbiology - Preparation of samples, stock suspension and decimal dilutions for microbiological examination - Part 1: General Rules for the Preparation of Stock Suspension and Decimal Dilutions. 2017;20 p.
18. ISO 6579-1. Food chain microbiology - Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella - Part 1: Detection of Salmonella spp; 2017.
19. Assi-kaudjhis JP Geographic study of aquaculture in sub-Saharan Africa: Example of Ivory Coast. Doctoral thesis, Faculty of Sciences, Free University of Brussels (Belgium); 2005.
20. Aboya N, Kanga KMJ, Assielou ES. Fish production sector in Ébrié lagoon (Ivory Coast). International Journal of Innovation and Scientific Research. 2020;50(1): 59–70.
21. Menga L, Akouango P, Ognika AJ. Socio-economic and technical characteristics of fish farms in the city of Brazzaville and its surroundings (Republic of Congo). Journal of Animal & Plant Sciences. 2023;56 (2):10327–10340.
22. Anoumou HY, Ahou RK, Boua CA, Essetchi PK. Contribution of women to fish production in Ivory Coast. European Scientific Journal. 2016;12(19): 325–337.
23. Kimou NB, Koumi RA, Koffi MK, Atsé CB, Ouattara IN & Kouamé PL Use of agri-food by-products in feeding farmed fish in Côte d'Ivoire. EDP, sciences. 2016;25:25006.
24. Yao KB, Yao AMR, Kouadio NO. Distribution and marketing circuits for fish products in the Haut-Sassandra region (Ivory Coast). International Journal of Humanities and Social Science Invention. 2021;10:38-45.
25. Linangola N. Technical and socio-economic characterization of the fish farming of the Mofi village and its surroundings. GRIN Verlag, Munich; 2019.
26. Tiogué CT, Bibou A, Kenfack A, Tchoumboué J. Socio-economic and technical characteristics of fish farms in the Mbam and Inoubou Department. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2020; 14(3):983-1000.
27. Kpenavoun SC, Gandonou E, Adegbedi A, Abokini E. Measurement and determinants of the technical efficiency of fish farmers in Benin. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2017;11(5):2194-2208.
28. N'dri KM, Yao K, Ibo GJ. Continental fish farming in the gontougo region (Côte d'Ivoire): Characterization and socio-economic aspects. Tropicultura. 2016;3: 300-312.
29. Bouhania R, Hammia I. Contribution to the study of the integration of aquaculture with agriculture in the oued righ region. Master's thesis, Specialty: Plant production, el chahid hamma lakhder el-oued University (Algeria); 2020.
30. Toily KNB. The fish farming sector in Ivory Coast: Case of the abidjan, agroville and aboisso regions. Doctoral thesis, Faculty of medicine, Pharmacy and odontology-stomatology, inter school - states of veterinary sciences and medicine (EISMV) Senegal (Dakar); 2009.

31. ORP. Diagnostic analysis of the integration of fish farming into family farms in Menoua (West Cameroon) June-November; 2004.
32. Yao AH, Koumi AR, Atse BC, Kouamelan EP. State of knowledge on fish farming in Ivory Coast. African Agronomy. 2017;29(3):227–244.
33. Elyounoussi C. Rachidi A. Belhassane LH. Bekkali M. Évaluation de la qualité microbiologique de certains poissons capturés et commercialisés dans le Grand Casablanca au Maroc. Les technologies de laboratoire. 2015;9:45-50.
34. Maouche N, Merabet C. Isolation of strains of *Staphylococcus aureus* from mastitis milk and certain dairy products. Master's Thesis, Specialty: Applied Microbiology. A. MIRA University - Bejaïa (Algeria); 2018.
35. Lowore T, Manani TN, Kapute F. Microbial, sensory and biochemical properties of fresh Farmed tilapia fish preserved in lactic acid bacteria culture. Journal of Nutrition and Food Sciences. 2022;12(7):1–19. Available:<https://doi.org/10.35248/2155-9600.22.12.871>

---

© Copyright (2024): Author(s). The licensee is the journal publisher. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:  
The peer review history for this paper can be accessed here:  
<https://www.sdiarticle5.com/review-history/114188>

## **Publication 2**



# **Evaluation of the Contamination of Four Metal Trace Elements (ETM) of Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*) from Two Types of Fish Ponds in an Aquaculture Production Center in Côte d'Ivoire**

**EHUI Edi Jean Fréjus <sup>a\*</sup>, YA Kouame Claude <sup>a</sup>  
and KOUASSI Kouassi Clément <sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Agroforestry Training and Research Unit, BP 150 Daloa, Jean Lorougnon Guédé University, Côte d'Ivoire.

## **Authors' contributions**

*This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.*

## **Article Information**

DOI: <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i11905>

## **Open Peer Review History:**

This journal follows the Advanced Open Peer Review policy. Identity of the Reviewers, Editor(s) and additional Reviewers, peer review comments, different versions of the manuscript, comments of the editors, etc are available here: <https://www.sdiarticle5.com/review-history/129428>

**Original Research Article**

**Received: 11/11/2024**

**Accepted: 13/01/2025**

**Published: 18/01/2025**

## **ABSTRACT**

Trace Metal Element (ETMs) pollution in fish farming is becoming a concern due to difficult production conditions. This study investigated the level of contamination by four trace metals: lead (Pb), mercury (Hg), arsenic (As) and cadmium (Cd). ETM research focused on *Oreochromis*

\*Corresponding author: E-mail: [jeanfrejusehui@gmail.com](mailto:jeanfrejusehui@gmail.com);

**Cite as:** Fréjus, EHUI Edi Jean, YA Kouame Claude, and KOUASSI Kouassi Clément. 2025. "Evaluation of the Contamination of Four Metal Trace Elements (ETM) of Tilapia Fish (*Oreochromis Niloticus*) from Two Types of Fish Ponds in an Aquaculture Production Center in Côte d'Ivoire". *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 28 (1):513-26. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i11905>.

*niloticus* from two types of fish ponds in the Haut-Sassandra region of Côte d'Ivoire. The health risk associated with tilapia consumption in this major production area was assessed. The concentration of Trace Metal Elements in fish was measured using a Perkin Elmer argon plasma emission spectrometer, Optima 3000 DV model. The physicochemical parameters of pond water were taken in situ with a multi-parameter. The physicochemical characteristics show that the Haut-Sassandra region is an area favorable to fish farming activity with a neutral pH, an average temperature of 30°C and a conductivity less than 300. As for ETMs, Low concentrations ranging from 0 to 0.040 mg/kg for tilapia, from 0 to 3.0147 mg/kg for sediments and from 0 to 0.3262 mg/kg for ponds water were observed in the matrices studied. Mercury and arsenic were found to be absent in Tilapia. The statistical analyzes carried out showed that the average concentrations of these ETMs are lower than the standards recommended by FAO and European Union. However, bioconcentration factors between 2 and 6 indicate that chemical pollutants in pond water and sediments have a negative impact on *Oreochromis niloticus* production, As for dam ponds / retentions basins, values less than 1 were obtained. This study reveals that the consumption of Tilapia from fish ponds in the Haut-Sassandra region could presents a low risk. The work has also shown that tilapia from bypass ponds / diversion basin are the most vulnerable to the ETMs studied.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*; chemical pollutants; ETM exposure; health risk.

## 1. INTRODUCTION

Population growth is accompanied by the development of major human activities, resulting in enormous environmental pollution (Adam et al., 2010; Smatti-Hamza., 2019; Ye et al., 2020). Chemical pollutants, including trace metals (TMEs) (Traore et al., 2014; Traore et al., 2015 ; Smatti-Hamza., 2019) are recognized for their negative impact on the environment. They enter the environment, particularly the aquatic environment, through atmospheric deposition, erosion of the geological matrix and human activities. In addition, the discharge of industrial effluents, domestic wastewater, mining waste and the use of pesticides and inorganic fertilizers (Martin & Lefèvre, 2019) gradually accentuate this pollution.

These heavy metals can have harmful effects on aquatic life. ETMs such as Lead, Mercury and Cadmium are worrying pollutants that can accumulate in aquatic organisms. They are then transmitted to humans through the consumption of contaminated fish products, which can lead to serious health damage (Smatti-Hamza., 2019; Boko et al., 2022).

In recent years, the consumption of fishery resources, particularly fish, has been at the heart of concerns due to the benefits they bring to human health (Diop et al., 2019; Nakweti et al., 2021 ; N'Doua et al., 2023). However, exposure of fish to trace metal elements raises major public health concerns, especially in regions where fish farming is crucial for the food security and income of local communities.

In the Haut-Sassandra region, an area with high aquaculture production in Côte d'Ivoire, the species *Oreochromis niloticus*, commonly called Tilapia, is widely cultivated in ponds, in two types of ponds (Ehui et al., 2024). While this practice is beneficial for food safety, it also raises growing concerns about contamination with Trace Metal Elements (ETMs) (Dupont et al., 2020). Previous studies have highlighted alarming levels of contamination in various water bodies in Côte d'Ivoire, suggesting that fish from these environments could have ETMs levels exceeding recommended thresholds (Kouadio et al., 2021).

Regular consumption of contaminated fish can therefore lead to adverse effects on human health, including neurological disorders, kidney problems and cardiovascular diseases (Soro & N'Guessan, 2022). Moreover, communities that depend on fish as their main source of protein and income are particularly vulnerable to the effects of this contamination.

In Haut-Sassandra, very few studies have been carried out on the contamination of fish by Metallic Trace Elements, even though this region is an emblematic center of aquaculture production in Côte d'Ivoire (Adingra et al., 2010).

In this context, it is essential to assess the level of contamination by Lead (Pb), Mercury (Hg), Arsenic (As) and Cadmium (Cd) in Tilapia, water and sediments from two types of fish ponds in the Haut-Sassandra region. This study will provide an overview of likely health risks, in order to make effective suggestions to producers for sustainable management of aquatic resources.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Study Area and Sampling Site

This study was carried out in the Haut-Sassandra region, an area with high aquaculture production in Ivory Coast. This region is located in the west center of Côte d'Ivoire and has 4 departments including the

departments of Daloa, Issia, Vavoua and Zoukougbeu. There are six fish cooperative societies.

### 2.2 Materials

The biological material used in this study is mature Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*), sediment and pond water (Fig. 2).

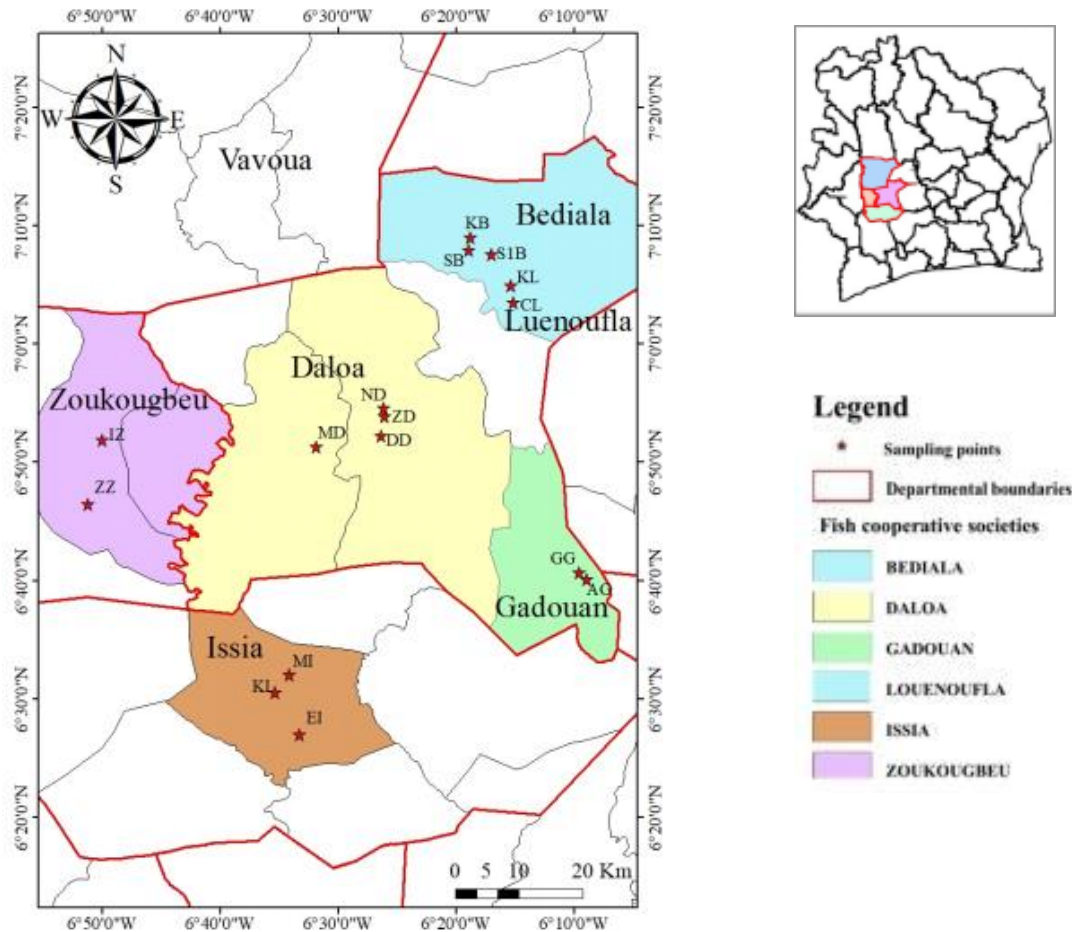


Fig. 1. Mapping of sampling sites



*Oreochromis niloticus*



Ponds sediments



Fish ponds water

Fig. 2. Different biological study materials

## 2.3 Methods

### 2.3.1 Sampling

Stratified sampling was carried out in this study. The type of ponds, associated and surrounding activities, and the production system are the stratification criteria used. A total of 16 farms were selected, including eight (08) farms with dam ponds and eight (08) others with diversion ponds. On each farm, three ponds were studied, one upstream, one in the middle and the last downstream.

### 2.3.2 Sample collection

**Pond water:** The pond water was sampled using the method of the Canadian Council of Ministers of the Environment (Morrison & Smith, 2011). The pond water was sampled by plunging the jar to a depth of approximately 50 cm. pond water. The jar is hermetically closed, leaving an air space of at least 2.5 cm between the water and the closure of the bottle, then labeled and coded. Composite sampling was carried out. A sample consists of five (04) bottles of 250 mL of water taken from the four (04) points of the ponds. All of the samples are put in a cooler containing cold accumulators and sent directly to the laboratory for analysis. In sum, 2 samples were retained per farm. A total of 32 samples of water from 16 fish ponds in the Haut Sassandra region were analyzed.

**Pond sediments:** The sediment samples were collected according to the ISO 5567-12 standard and the method of (Lionard et al., 2015). The sediments are collected by scraping the first cm (< 5 cm) from the bottom of the ponds using a stainless steel shovel beforehand and placed in bags. The bags are tightly closed, labeled and then coded. Composite sampling was carried out. A sample consists of five (04) bags of 250 g of sediment taken from the four (04) points of the ponds. The entire sample is put into coolers containing ice and taken directly to the laboratory for analysis. Two (02) samples will be taken per farm according to the same criteria as water. Two sediment samples will be retained for each farm. A total of 32 sediment samples from a few fish ponds in the Haut Sassandra region will be analyzed.

**Pond fish:** Tilapia fish were collected according to the method used by (Coulibaly., 2018). They were captured under usual fishing conditions using a net. After fishing, eight mature Tilapia of

at least 250 g each are collected at random and placed in a Stomacher bag. A fish sample consists of eight (08) mature fish (Tilapia). Three (03) samples are retained per operation. A total of 48 fish samples were collected and placed in Stomacher bags, carefully labeled then placed in coolers containing ice and transported directly to the laboratory for analysis.

### 2.3.3 Determination of heavy metals

**Mineralization of samples:** Solid samples (Tilapia and sediment) were partially thawed at room temperature. Approximately 5 g of each wet sample is collected in a plastic cup. The samples taken are dried in an oven at  $103^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  for 48 hours. After drying, they are weighed and transferred to a dry mortar with a smooth surface previously cleaned with Extran 300 soap and rinsed with diluted nitric acid and ultra-pure water then dried. The mortar is cleaned between two samples. The samples were subsequently ground until homogeneous. 300 mg of the powder obtained is taken and placed in a Teflon container fitted with a lid. 5 mL of concentrated  $\text{HNO}_3$  is added and left to rest for approximately 30 minutes under the hood without closing the lid tightly. The Teflon containers are lowered, without their lids, into a sand bath and heated to approximately  $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  until the volume reaches approximately 0.5 to 1.0 mL. 2 mL of 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  is added and allowed to evaporate (approximately 30 minutes) by half without drying. 2 mL of concentrated  $\text{HNO}_3$  and 1 mL of concentrated  $\text{HCl}$  are added and the gas is allowed to escape for a few minutes with gentle stirring. The container is tightly closed and placed in the sand bath and allowed to heat for 1 hour. After about 30 minutes, the lid is gently opened to relieve the pressure in the container and allow the gas to escape. The whole is heated for 1 hour then the Teflon is immersed in cold water for 10 to 15 minutes to reduce the pressure. The contents of the telfon are transferred into a 50 mL polypropylene tube. The telfon is rinsed with several volumes of water to reach an exact volume of 30 mL in the tube. The tube is closed and shake vigorously to make it homogeneous.

**Dosage:** The samples are measured using a Perkin Elmer argon plasma emission spectrometer, Optima 3000 DV model. The Cyclonic Spray Chamber and Burgener Peek Mira Mist Nebulizer are used. If necessary, samples are diluted to meet the upper limits of the instrument. The metals sought are as follows: Cd; Pb; Hg; Ace.

### 2.3.4 Data processing and statistical analysis

#### Estimation of the intensity of contamination:

The intensity of contamination of Tilapia, water and sediments is estimated from the comparison between the values of trace elements determined and the reference values of the maximum concentration limits recommended by the Commission of the European Communities No. 1881/2006 and revised in 2023 and *Codex Alimentarius* 193-1995 (FAO/WHO, 2023).

#### Calculation of the bioconcentration factor (BCF):

The BCF is a parameter used to describe the transfer of trace metal elements (TME) from the biotope (water and sediments) to organisms. It comes from the ratio between the concentration of a trace metal element in an organism in a state of equilibrium and its concentration in the biotope (Traore et al., 2014) as indicated by equation 1:

$$BCF = \frac{\text{Concentration of ETM in animals}}{\text{Concentration of ETM in water or sediment}} \quad (1)$$

BCF < 1: means that there is no bioconcentration of the trace element in Tilapia. The fish eliminates the pollutant faster than it absorbs it.

BCF > 1: means that there is a bioconcentration of the trace element in the fish. The pollutant is therefore absorbed by the fish at a higher rate than it is eliminated.

### 2.4 Statistical Analyzes

The analysis of the results was carried out using STATISTICA version 7.1 software. Descriptive statistics was performed to calculate the mean concentrations and standard deviation. The t comparison test made it possible to compare the average concentrations with the recommended standards.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Results

#### Physico-chemical characteristics of pond water:

The following Table 1 presents the average values of the physicochemical characteristics of water from diversion and dam ponds. The statistical analyzes carried out show a statistical difference between the values collected and the recommended standards. The average temperature values of the two types of ponds are between 29°C and 31°C and that of neutral pH. The conductivity is less than 300 mg/L.

#### Contaminant contents of Tilapia fish from different fish ponds by Metal Trace Elements (MTE):

The Table 2 below presents the average concentrations of ETMs studied in Tilapia, pond water and sediments, depending on the types of ponds. The analyzes carried out showed no trace of Mercury and arsenic in Tilapia regardless of the type of pond considered. Cadmium and lead were present in very low concentrations in Tilapia. Of the two ponds considered, Tilapia from diversion ponds are the most contaminated.

At the sediment level, the analyzes revealed the presence of the four ETM studied with an absence of arsenic in dam ponds. Mercury, cadmium and arsenic are present at low concentrations of 0.0292 mg/L, 0.7682 mg/L and 0.0182 mg/L respectively in the dam ponds and 0.011 mg/L, 0.7682 mg/L. Lead is present in high concentrations in both types of ponds.

Pond waters are present at lower concentrations than sediments. However, the highest concentration of Mercury was observed in water from dam ponds.

**Table 1. Average values of physicochemical parameters measured on the two types of ponds**

| Type of ponds |              | Temperature (°C) | pH             | Conductivity (mg/L) |
|---------------|--------------|------------------|----------------|---------------------|
| DP            | Average ± SD | 29,98±2,69       | 7.19±0,8       | 82.34 ±10,69        |
|               | Test-t       | 16,80 ; -7,37    | 8.166 ; -14,18 | -57.601             |
|               | p            | < 0,001          | < 0,001        | < 0,001             |
| PD            | Average ± SD | 31,18±1,29       | 6.99±0,5       | 87.58±10,66         |
|               | Test-t       | 37,618 ; -12,72  | 11.38 ; -22.91 | -56.371             |
|               | p            | < 0,001          | < 0,001        | < 0,001             |
|               | Standards    | 14-37            | 5-11           | < 300               |

DP: Dam Ponds; PD: Ponds in Diversion; SD: Standard of Diversion; p: probability; p < 0.05: indicates a significant difference between the compared values

**Table 2. Average concentration in mg/kg of ETMs in Tilapia, water and sediments**

| Pond type       | Matrix     | ETM  | N | Minimum | Mean $\pm$ SD        | Maximum |
|-----------------|------------|------|---|---------|----------------------|---------|
| Diversion ponds | Tilapia    | [Hg] | 8 | 0,0000  | 0 $\pm$ 0            | 0,0000  |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,0481  | 0,040 $\pm$ 0,006    | 0,0555  |
|                 |            | [Pb] | 8 | 0,0355  | 0,02306 $\pm$ 0,007  | 0,0466  |
|                 |            | [As] | 8 | 0,0000  | 0 $\pm$ 0            | 0,0000  |
|                 | Sediment   | [Hg] | 8 | 0,0470  | 0,0292 $\pm$ 0,0127  | 0,0622  |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,8681  | 0,7682 $\pm$ 0,0732  | 0,9768  |
|                 |            | [Pb] | 8 | 3,7282  | 3,0147 $\pm$ 0,4124  | 4,5074  |
|                 |            | [As] | 8 | 0,0214  | 0,0182 $\pm$ 0,0028  | 0,0264  |
|                 | Pond water | [Hg] | 8 | 0,0028  | 0 $\pm$ 0,0038       | 0,0080  |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,0129  | 0,0125 $\pm$ 0,0002  | 0,0132  |
|                 |            | [Pb] | 8 | 0,2820  | 0,19288 $\pm$ 0,0459 | 0,3127  |
|                 |            | [As] | 8 | 0,0316  | 0,0179 $\pm$ 0,0239  | 0,0722  |
| Dam ponds       | Tilapia    | [Hg] | 8 | 0       | 0 $\pm$ 0            | 0       |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,001   | 0 $\pm$ 0,0010       | 0,001   |
|                 |            | [Pb] | 8 | 0,020   | 0,0020 $\pm$ 0,012   | 0,035   |
|                 |            | [As] | 8 | 0       | 0 $\pm$ 0            | 0       |
|                 | Sediment   | [Hg] | 8 | 0,0174  | 0,011 $\pm$ 0,0056   | 0,0240  |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,9348  | 0,7682 $\pm$ 0,0834  | 1,0246  |
|                 |            | [Pb] | 8 | 3,3967  | 3,3567 $\pm$ 0,0993  | 3,6422  |
|                 |            | [As] | 8 | 0,0120  | 0 $\pm$ 0,0105       | 0,0250  |
|                 | Pond water | [Hg] | 8 | 0,1346  | 0 $\pm$ 0,3699       | 1,0500  |
|                 |            | [Cd] | 8 | 0,0395  | 0,0126 $\pm$ 0,0170  | 0,0531  |
|                 |            | [Pb] | 8 | 0,3328  | 0,3262 $\pm$ 0,0030  | 0,3355  |
|                 |            | [As] | 8 | 0,0524  | 0,014 $\pm$ 0,0245   | 0,0740  |

ETM: Metal Trace Elements; N: Number of samples; SD: Standard deviation

**Compliance with standards for metallic trace elements of tilapia fish:** The statistical analyzes carried out indicate a significant difference between the concentrations detected and the standards recommended by the EU and the FAO/WHO. The concentrations of mercury, lead, cadmium and arsenic are statistically lower than the respective standards of 0.5 mg/kg, 0.05 mg/kg, 0.3 mg/kg and 0.1 mg/kg FAO/WHO. (2023) This difference is as well marked in dam ponds as in diversion ponds.

**Compliance with standards for Metallic Trace Elements of pond sediments:** The following Fig. 3 shows the differences between the concentrations of ETMs present in sediments and the standards. Cadmium and lead are present with respective average concentrations of 0.7682 mg/kg and 3.014 mg/kg for diversion ponds and 0.7682 mg/kg and 3.3567 mg/kg for dam ponds. These different concentrations are higher than the standards recommended by FAO/WHO. (2023). These standards are 3.5 mg/kg, 10 mg/kg, 100 mg/kg and 19 mg/kg respectively for Mercury, Cadmium, Lead and Arsenic.

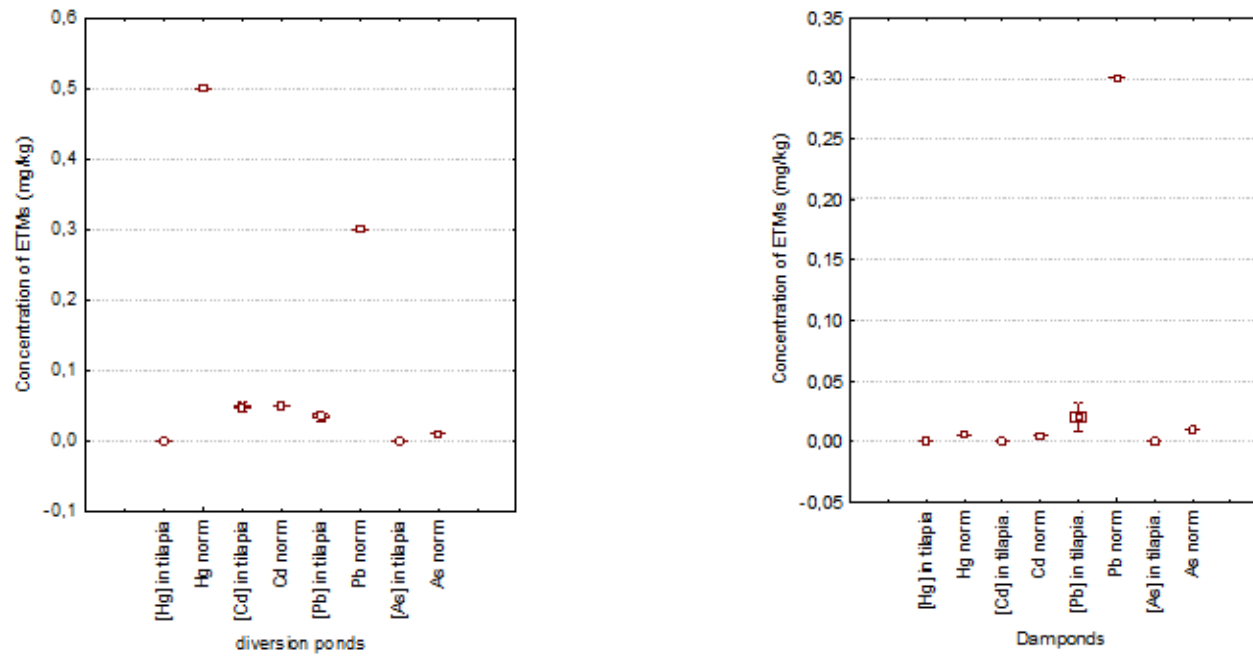
**Compliance with standards for metallic trace elements of pond water:** The following boxplots show the conformity of Metal Trace Elements in

pond waters. All the ETMs studied are present in pond water with concentrations below standards. These standards are 3.5 mg/kg, 10 mg/kg, 100 mg/kg and 19 mg/kg for Hg, Cd, Pb and As respectively FAO/WHO. (2023).

### 3.2 Accumulation of Trace Metal Elements in Tilapia in fish Ponds

**Bioconcentration factors of ETMs in relation to pond water (BCFe) and fish:** The effect of trace metal elements contained in water on Tilapia is presented in Tables 3. The calculated bioaccumulation factors give zero values for mercury and arsenic in both types of ponds. For cadmium, only the diversion basins had values greater than 1 for BCFe. As for lead, the BCFe are greater than 1 in both types of ponds.

**Bioconcentration factors of ETMs in relation to sediment (BCFs) and fish:** The effect of trace metal elements contained in the sediments on *Oreochromis niloticus* is presented in Tables 4. The calculated bioaccumulation factors give zero values for mercury and arsenic in both types of ponds. For cadmium, only the diversion basins had values greater than 1 for BCFe. As for lead, the BCFs are all less than 1 in both types of basins.



**Fig. 3. The conformity study of ETMs in Tilapia from the two the types of ponds**

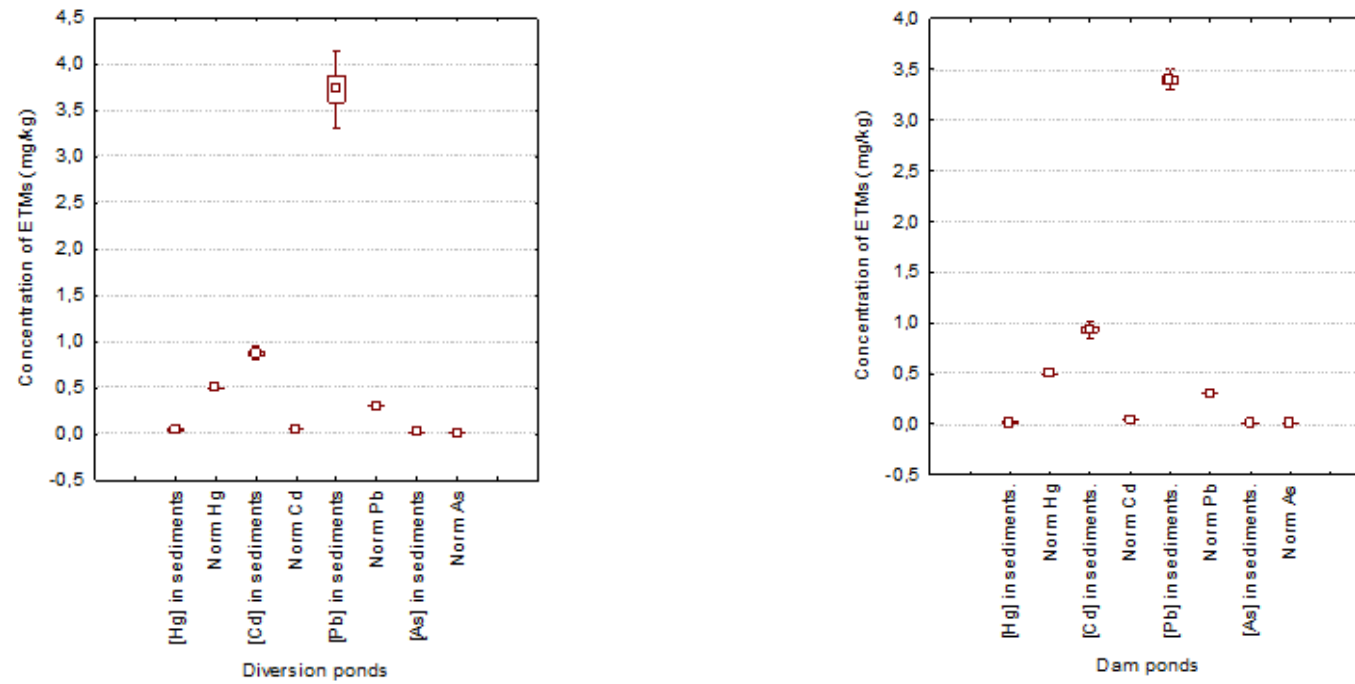


Fig. 4. The conformity study of ETMs in sediments from the two the types of ponds

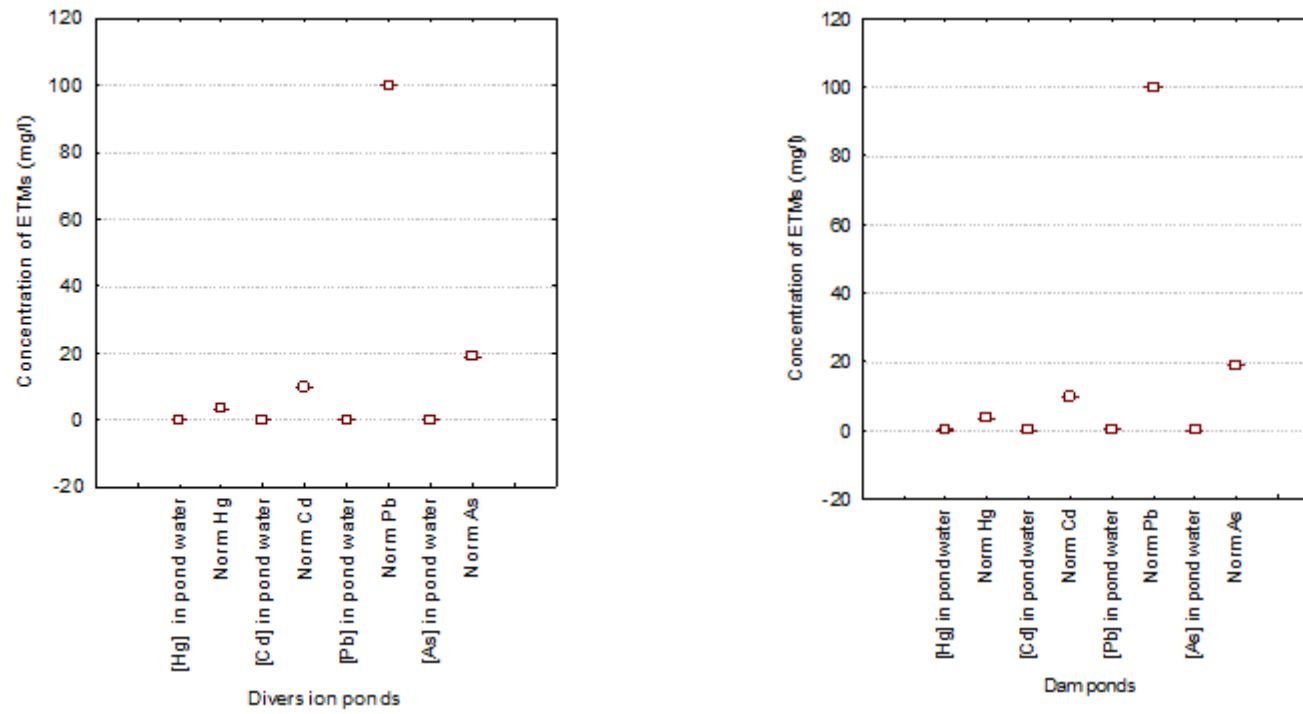


Fig. 5. The conformity study of ETMs in water from the two the types of ponds

**Table 3. bioconcentration factors of ETMs in relation to pond water (BCFe) and fish**

| Pond type       |      | Mercury (Hg) | Cadmium (Cd) | Lead (Pb) | Arsenic (As) |
|-----------------|------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| Diversion ponds | BCFe | 0,000        | 4,667        | 6,800     | 0,000        |
| Dam ponds       | BCFe | 0,000        | 0,875        | 4,400     | 0,000        |

**Table 4. bioconcentration factors of ETMs in relation to fish and sediment (BCFs)**

| Pond type       |      | Mercury (Hg) | Cadmium (Cd) | Lead (Pb) | Arsenic (As) |
|-----------------|------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| Diversion ponds | BCFs | 0,000        | 2,333        | 0,120     | 0,000        |
| Dam ponds       | BCFs | 0,000        | 0,200        | 0,067     | 0,000        |

### 3.3 Discussion

The analysis of the average values of the physicochemical parameters of the diversion and dam ponds reveals significant results which deserve to be put into perspective with previous work. The measured temperatures, between 29° C and 31° C, are consistent with the studies of Dupont et al., 2020a). This research shows similar temperatures in ponds, indicating thermal stability favorable to aquatic biodiversity. Regarding pH, values ranging from 5 to 11 show wide variability. This observation is supported by the research of Martin & Lefèvre, (2019), who noticed pH fluctuations in similar aquatic systems, highlighting the importance of environmental factors. A pH that is too acidic can harm sensitive species, while a high pH can encourage harmful algal blooms, as the work of Gauthier (2021) suggests. Conductivity, less than 300 mg/L, is a crucial indicator of water quality. The results obtained are in agreement with those of (Boucher et al., 2022), who reported similar conductivity levels in unpolluted ponds. However, these values should be interpreted with caution. High conductivity could indicate pollution by salts or nutrients, which could have harmful consequences on aquatic flora and fauna. The statistical analyzes show a significant difference between the collected values and the recommended standards, which is in line with the conclusions of Lemoine (2020), who also observed worrying deviations in other aquatic systems. These differences underline the need for regular monitoring and proactive management of water resources to maintain the health of aquatic ecosystem.

Analysis of average ETMs concentrations in Tilapia, pond water and sediment reveals interesting results that deserve to be examined in detail. First of all, the absence of mercury and arsenic in Tilapia, whatever the type of pond, is a positive point which suggests a low

contamination of these metals in the aquatic ecosystems studied. This observation is consistent with the work of (Tremblay et al., 2018), who also noticed significant levels of these metals in other fish species in similar environments. However, the presence of cadmium and lead, even at very low concentrations in Tilapia is a cause for concern. This presence of cadmium and lead in Tilapia can be explained by the persistence of these elements in the environment (water and sediment). This idea is supported by (Adam et al., 2010) during their study on the search for ETMs in four species of fish consumed by the fishing families of Jacqueville. Tilapia from diversion ponds show higher levels of contamination, which could indicate diffuse pollution in these systems. This trend is corroborated by (Adam et al., 2010; Kouadio et al., 2021), who observed similar concentrations of cadmium in fish from aquatic environments influenced by agriculture and urbanization. More worrying results were obtained by (Ouro-Sama., 2014; Akan et al., 2012) respectively in Congo and Togo. This autor obtained very high concentrations in the same matrices and in *Claria gariepinus* and *Chrysichthys nigrodigitatu*. The presence of cadmium and lead underline potential risk to human health. Cadmium is associated with adverse effects on the kidneys and bone system (Renner et al., 2011). while lead can cause neurological disorders, particularly in childhood (Lanphear, 2005). As for the absence of mercury and arsenic, this could be attributed to the nature of the foods. The unavailability of these elements linked to their nature and fish ability to eliminate them (Traore et al., 2015 ; Nakweti et al., 2021).

According to sediments study, with an absence of arsenic was noticed in dam ponds. The importance of monitoring these environmental matrices. The presence of mercury, cadmium and lead at low concentrations in dam ponds is

of concern (0.0292 mg/L, 0.7682 mg/L and 0.0182 mg/L respectively) and in diversion ponds (0.011 mg/L for mercury and 0.7682 mg/L for cadmium). These levels, although low, can accumulate in the food chain, as research by (Nguyen et al., 2020). Lead concentrations, meanwhile, are high in both types of ponds, which could be attributed to anthropogenic sources such as industry or pesticide use. This situation is alarming, because lead is recognized for its harmful effects on human and animal health (Bouchard et al., 2019). Finally, the presence of mercury at higher concentrations in the waters of dam ponds compared to sediments is surprising. This could indicate bioaccumulation dynamics or recent inputs of mercury into these systems. Previous studies, such as those by (Friedman et al., 2021), demonstrated that surface waters can often be temporary reservoirs of contaminants before their sedimentation.

The statistical analyzes carried out Distinguish a significant difference between the concentrations of ETMs detected in Tilapia, sediment and water and the standards established by (FAO/OMS, 2011). These different pollutants and contaminants are present at concentrations below standards. This situation would be all the more worrying for the regular consumption of these fish, because chronic exposure to these different ETMs can lead to neurological disorders, behavioral problems and learning deficits (Lanphear et al., 2018). These results diverge from those of (Nakweti et al., 2021; Sama et al., 2024). The results also reveal variations in heavy metal concentrations depending on the type of pond. In diversion ponds, the increasing order of concentrations is in this order: Cadmium (Cd) < Lead (Pb) < Mercury (Hg) = Arsenic (As). This indicates that although cadmium is present at lower levels, lead appears to be the metal of greatest concern in these environments. On the other hand, for dam ponds, the order is: Lead (Pb) < Cadmium (Cd) < Mercury (Hg) = Arsenic (As). This difference can be attributed to several factors, including the nature of human activities, which can influence water contamination (Zhang et al., 2020). The results also suggest that diversion ponds may be more vulnerable to pollution, possibly due to insufficient drainage or an accumulation of contaminants from surrounding land (Akan et al., 2012). On the other hand, dam ponds, which could benefit from better water circulation, seem to present more varied levels of contamination. This situation Spotlight the importance of adequate management of aquatic resources to

minimize the risk of contamination. These results illuminate the need for continued monitoring of fish contamination levels in these ponds, in order to protect the health of fish as well as consumers. Concerning the effect of environmental contaminants on fish, interesting results were observed, notably with zero values for the bioaccumulation factors (BCF) of mercury and arsenic in both types of ponds. These results corroborate those of (Baker et al., 2019), who also observed an absence of significant bioaccumulation of mercury in fish from uncontaminated areas. This suggests that mercury and arsenic levels in these aquatic ecosystems are low enough to not cause food safety concerns.

Nevertheless, the results regarding cadmium are concerning. In our study, only diversion ponds showed BCFs greater than 1, indicating notable bioaccumulation. This is in agreement with the work of (Nguyen et al., 2020), who also reported high levels of cadmium in fish from agricultural areas. This suggests that human activities may contribute to the contamination of sediments and their accumulation in the food chain. This bioaccumulation highlights the importance of effective management of water resources. Regarding lead, BCFs greater than 1 in both types of ponds are worrying. This result is similar to those of (Kouadio et al., 2021), who found lead levels of concern in fish samples from urban and industrial areas. The presence of lead in our results indicates that even in environments considered relatively healthy, there may be risks of accumulation.

#### 4. CONCLUSION

The analysis of physicochemical parameters and ETMs concentrations in the ponds revealed significant results which underline the importance of environmental monitoring. The physicochemical parameters studied indicate favorable conditions for aquatic biodiversity. The absence of mercury and arsenic in Tilapia is a positive point. yet, the presence of cadmium and lead, even at low concentrations, raises food safety concerns. The results also show that diversion ponds are more vulnerable to contamination, likely due to surrounding human activities. The significant differences between measured concentrations and standards established by FAO/WHO Emphasize the need for proactive management of water resources. Although contamination levels are below standards, chronic exposure to these metals can have adverse effects on human health.

Bioconcentration factors also reveal the negative impact of water and sediment. These results highlight the importance of continuous assessment of the risks associated with the consumption of fish from these ponds. Also, the need for sustainable management of the aquatic ecosystem. In perspective, studies should focus on identifying sources of contamination and implementing appropriate management strategies to minimize environmental impacts.

## DISCLAIMER (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

Author(s) hereby declare that NO generative AI technologies such as Large Language Models (ChatGPT, COPILOT, etc.) and text-to-image generators have been used during the writing or editing of this manuscript.

## COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

## REFERENCES

- Adam S., Etorh P.A., Totin H., Koumolou L., Amoussou E., Aklirikou K. & Boko M. (2010). Pesticides and heavy metals in drinking water, soils and sediments of the cotton belt of Gogounou, Kandi and Banikoara (Benin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(4): 1170-1179
- Adingra A., Gore bi T., Ble M. & Dosso M. (2010). Evaluation of the bacterial load in *Tilapia Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) sold on the markets of Abidjan (Ivory Coast). *African Agronomy* 22 (3): 217 – 225.
- Akan J. C., Afolabi, O. A. & Olayemi, J. A. (2012). Heavy metals in fish from the River Niger, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3), 1871-1881. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2020-5>
- Bamba I. & Traoré M. (2023). Food security and health risks related to aquaculture. *Journal of Nutrition and Health*.
- Boko L.F., Musibono D.E., Matand A., Ngelikoto P. & Iketsh L.B. (2022). Contribution to the study of contamination with trace metal elements (Mn, Co, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* of the Yolo River (KINSHASA, DRC), *International Journal of Advanced Research*. 10(07), 871-884
- Bouchard M., Lévesque B. & Gagnon C. (2019). Health effects of lead: Studies and implications. *Journal of Environmental Medicine*, 22(1), 67-79.
- Boucher A., Dupuis C. and Moreau P. (2022). Conductivity and pollution in ponds: A data analysis. *Annals of the Aquatic Environment*, 10(4), 201-215.
- Cohen J. T., Bellinger D. C. & McGeehin M. A. (2009). "Health effects of mercury exposure." *Environmental Health Perspectives*, 117(6), 1006-1014.
- Diop C., Diatta A., Ndiaye A., Cabral M., Toure A. & Fall M. (2019). Trace metal levels in water and fish from five ponds in Dakar and risks to human health. *Journal of Applied Biosciences* 137:13931–13939
- Dupont J., Martin P. & Lefèvre S. (2020). Impact of aquaculture on public health. *Journal of Aquatic Biology*, 15(2), 123 135
- Dupont J., Martin S. & Lefèvre T. (2020a). Study of thermal variations in aquatic ponds. *Journal of Aquatic Ecology*, 15(3), 123-135.
- Ehui E.J.F., Kouassi K.C., Kouassi K.A. & Ehouman A.G.S. (2024). "Specific Diversity of Fish Ponds in the Haut-sassandra and Risks of Contamination by Potential Pathogens among *Oreochromis niloticus* (Tilapia)", *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 26, no. 3 (2024): 76-86, <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2024/v26i3748>
- FAO/WHO. (2023). general standard for contaminants and toxins present in products for human and animal consumption. Codex Alimentarius, 2013: 86 p <https://www.fao.org/food-safety/2023-guidelines>
- FAO/WHO (2011). Food Standards: Codex Alimentarius. Joint FAO/WHO Food Standards Programme.
- Farzadkia, M., Yavary Nia, M., Yavari Nia, M., Shacheri, F., Nourali, Z., & Torkashvand, J. (2024, April). Reduction of the environmental and health consequences of cigarette butt recycling by removal of toxic and carcinogenic compounds from its leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(16), 23942-23950.
- Friedman J., Smith R. & Lee C. (2021). Dynamics of mercury contamination in aquatic ecosystems. *Annals of the Aquatic Environment*, 14(3), 88-102.
- Gauthier R. (2021). Algal blooms and water quality: A comparative study. *Aquatic Research Bulletin*, 8(1), 67-79.
- Goura, S. O., Gouissi, F. M., Houngpatin, A. S., Yessoufou, W. B., Biaoou, T. S., Fassinou, N. M. (2024, February 5). Evaluation of

- agricultural contamination level by heavy metals and pesticides in sediments of rivers and water bodies for shrimp fishing in the lower Ouémé: Case of the Aguigadji, Ahlan and Sele stations in Benin. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 14(02), 25-46.
- Kouadio K., Bamba I. & N'Guessan, A. (2021). Study of *Oreochromis niloticus* in the ponds of Haut-Sassandra. *Bulletin of Aquatic Sciences*.
- Kumar, A., Kumar, V., Bakshi, P., Parihar, R. D., Radziemska, M., & Kumar, R. (2024, September 25). Mercury in the natural environment: Biogeochemical cycles and associated health risks. *Journal of Geochemical Exploration*.
- Lanphear B. P., Hornung R., Khoury J., Yolton K. & Matte T. (2005). Health effects of lead exposure. *Environmental Health Perspectives*, 113(7), 1001-1006.
- Lanphear B. P., Hornung R., Khoury J., Yolton K., Hohman Z. & Nevin R. (2018). "Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study." *The Lancet Public Health*, 3(4):177-184.
- Lemoine V. (2020). Water quality monitoring in aquatic ecosystems: Gaps and concerns. *Journal of Environmental Sciences*, 27(5), 88-102.
- Lionard M., Dupont A. & Martin C. (2015). Impact of environmental factors on fish diversity in freshwater ecosystems. *Aquatic Ecology* 49, no. 2:123-135. <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9491-2>
- Martin P. & Lefèvre, S. (2019). Trace metal elements in fish: risks and implications. *Journal of Environmental Health*.
- Martin S. & Lefèvre T. (2019). pH fluctuations in aquatic systems: Impact on biodiversity. *Journal of Water Sciences*, 32(2), 45-58.
- Morrison G. R. & Smith J. M. (2011). Sampling techniques for assessing pond water quality. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 789-798. DOI: 10.2134/jeq2010.0456
- N'Doua A. D.Y.S., Ayi M. N. M., Adjessan D. & Koffi K.M. (2023). Determination of the Level of Metal Contamination (Arsenic, Cadmium, Mercury and Lead) of Four Fish Species Consumed by Fishing Families in Jacqueville. *ESI Preprints*. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2023.p737>
- Nguyen T., Tran H. & Hoang D. (2020). Bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms: A systematic review. *Environmental Research Bulletin*, 15(4), 201-215.
- Nakweti K.J., Lusasi S.W. & Tembeni M.J. (2021). Assessment of Trace Metal Element (Cadmium and Lead) Levels in Water, Sediments and Two Fish Species *Clarias Gariepinus* (Burchell, 1822) and *Oreochromis Niloticus* (Linnaeus, 1758) in the Malebo Pool (Congo River), DR Congo. *European Scientific Journal*, 17(25): 174.
- Onyena, A. P., Folorunso, O. M., Nwanganga, N., Udom, G. J., Ekhatior, O. C., Frazzoli, C., Ruggieri, F., Bocca, B., & Orisakwe, O. E. (2024, April). Engaging one health in heavy metal pollution in some selected Nigerian Niger Delta cities: A systematic review of pervasiveness, bioaccumulation, and subduing environmental health challenges. *Biological Trace Element Research*, 202(4), 1356-1389.
- Ouro-Sama K., Solitoke H. D., Gnandi K., Afiademanyo K. M. & Bowessidjaou, E. J. (2014). Assessment and health risks of heavy metal bioaccumulation in fish species of the Togolese lagoon system. *Vertigo*, 14(2)
- Renner L., Schwabe A., Döll S., Höltershinken M. & Dänicke S. (2011). Effect of rare earth elements on beef cattle growth performance, blood clinical chemical parameters and mitogen stimulated proliferation of bovine peripheral blood mononuclear cells *In vitro* and *ex vivo*. *Toxicology Letters*, 201 (3): 277-284
- Sharma, M., Kant, R., Sharma, A. K., & Sharma, A. K. (2024, April 12). Exploring the impact of heavy metals toxicity in the aquatic ecosystem. *International Journal of Energy and Water Resources*.
- Smatti-Hamza I., Afri-Mehennaoui F-Z., Keddari D. & Mehennaoui S. (2019). Level of contamination by the trace metal elements cadmium, cobalt, copper and zinc of two cyprinids and sediments of the Koudiet Medouar dam (Batna, Algeria). *Journal of Applied Biosciences*, 143: 14606 – 14622
- Soro, A. & N'Guessan A. (2022). Water Contamination and Public Health in Côte d'Ivoire. *Annales de l'Environnement*.
- Traore A., Ake-assi Y., Ahoussi K.E. & Soro N. (2015). Assessment of the Concentration of Trace Elements (Pb, Cu, Zn, Fe, Cd and Hg) in Shrimp (*Macrobrachium vollenhovenii*) from the Aghien and Potou Lagoons (South-Eastern Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 24: 129-142

- Traore A., Soro G., Ahoussi K.E., Bamba B.S., Soro N. & Biemi J. (2014). Heavy metal contamination level of sediments in a tropical lagoon: the Aghien lagoon (South-East of Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE*, 10(3) 73 – 88
- Tremblay A., Dupuis C. & Moreau P. (2018). Contamination of fish by heavy metals in aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Health*, 12(3), 145-158.
- Ye L., Lompo D.J.P., Sako A. & Nacro H.B. (2020). Assessment of trace metal element contents in soils subjected to the input of urban solid waste. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(9): 3361-3371
- Zhang Y., Wang X., He Y., Liu Y. & Zhang H. (2020). "Impact of anthropogenic activities on water quality in urban rivers: A case study of the Yangtze River." *Science of The Total Environment*, 738.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of the publisher and/or the editor(s). This publisher and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

© Copyright (2025): Author(s). The licensee is the journal publisher. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:  
The peer review history for this paper can be accessed here:  
<https://www.sdiarticle5.com/review-history/129428>

## RESUME

La présente étude a été réalisée dans une zone emblématique de la pisciculture ; la Région du Haut-Sassandra, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. L'étude visait à évaluer la contamination microbienne et chimique de l'eau, des sédiments et du poisson dans un contexte de développement et de relance de la pisciculture en Côte d'Ivoire. Pour cela, les principales caractéristiques des étangs piscicoles de la zone d'étude et le profil des producteurs ont été déterminés par une enquête. Les pathogènes bactériens du Tilapia, des eaux et des sédiments issus des étangs piscicoles ainsi qu'une caractérisation des souches ont été réalisées. Aussi, des contaminants chimiques ont-ils été déterminés. La pisciculture est une activité importante dans la région du Haut-Sassandra. Le poisson *Oreochromis niloticus* (tilapia) est l'espèce la plus produite. L'activité est pratiquée dans un environnement favorable avec les étangs barrage et les étangs en dérivation. Les systèmes de production sont extensifs ou semi intensifs. Les fermes sont dans des zones urbaines et rurales et les détenteurs sont majoritairement des hommes avec un faible niveau scolaire. Les producteurs ont en général une autre activité financière connexe et d'autres activités sont même associées à la pisciculture. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* sp et *Salmonella* sp sont des pathogènes de l'eau, des sédiments et du poisson Tilapia. Les pathogènes issus du tilapia ont présenté de nombreuses résistances aux antibiotiques de plusieurs familles notamment les beta-lactamines, les tétracyclines, les quinolones et les aminosides. En outre, des gènes de virulence comme la Shiga toxine (*stX1*, *stX2*) pour *E. coli*, des entérotoxines (*seA*, *seB*, *seC*, *seD*, *seE*) pour *S. aureus* et la gélatinase (*gelE*) *Enterococcus* ont été identifiés par une PCR. Les éléments traces métalliques, le Mercure, de l'Arsenic, le Cadmium et le Plomb ont été détectés dans le tilapia, les eaux et les sédiments des étangs piscicoles par la spectrométrie à plasma à émission d'argon. Neuf résidus de pesticides ont été identifiés dans le tilapia, vingt-cinq dans les eaux et vingt-quatre dans les sédiments des étangs piscicoles par HPLC. Des pesticides comme le Méthabenzthiazuron, le Fénuron, le Métoxuron et le Monuron étaient bioaccumulés dans le tilapia. Les gènes de virulences, la résistance aux antibiotiques des pathogènes ainsi que les contaminants chimiques révèlent que la consommation du tilapia n'est pas sans danger pour les populations. Des mesures d'une gestion intégrée doivent être prises dans les efforts du gouvernement pour la relance et la promotion de la pisciculture.

**Mots clés :** Contaminants chimiques, pathogènes microbiens, Tilapia, virulence, résistance

## ABSTRACT

This study was conducted in an emblematic fish farming area; the Haut-Sassandra Region, in the Center-West of Côte d'Ivoire. The study aimed to assess the microbial and chemical contamination of water, sediments and fish poison in a context of development and revival of fish farming in Côte d'Ivoire. To this end, the main characteristics of fish ponds in the study area and the profile of producers were determined by a survey. Bacterial pathogens of Tilapia, water and sediments from fish ponds as well as a characterization of strains were carried out. Chemical contaminants were also determined. Fish farming is an important activity in the Haut-Sassandra Region. The fish *Oreochromis niloticus* (Tilapia) is the most produced species. The activity is practiced in a favorable environment with dam ponds and diversion ponds. Production systems are extensive or semi-intensive. Farms are located in urban and rural areas and owners are mostly men with low educational levels. Producers generally have other related financial activities and other activities are even associated with fish farming. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* sp and *Salmonella* sp are pathogens of water, sediments and Tilapia fish. Pathogens from Tilapia have shown numerous resistances to antibiotics from several families including beta-lactams, tetracyclines, quinolones and aminoglycosides. In addition, virulence genes such as Shiga toxin (*stX1*, *stX2*) for *E. coli*, enterotoxins (*seA*, *seB*, *seC*, *seD*, *seE*) for *S. aureus* and gelatinase (*gelE*) for *Enterococcus* were identified by PCR. Trace metal elements, Mercury, Arsenic, Cadmium and Lead were detected in Tilapia, water and fish pond sediments by argon emission plasma spectrometry. Nine pesticide residues were identified in Tilapia, seventeen in water and twenty-two in fish pond sediments by HPLC. Pesticides such as Methabenzthiazuron, Fenuron, Metoxuron, and Monuron were bioaccumulated in tilapia. Virulence genes, antibiotic resistance of pathogens, and chemical contaminants reveal that tilapia consumption is not safe for populations. Integrated management measures must be taken in the government's efforts to revive and promote fish farming.

**Keywords:** Chemical contaminants, microbial pathogens, Tilapia, virulence, resistance