

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
\*\*\*\*\*  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES  
\*\*\*\*\*  
FACULTY OF SCIENCES

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**  
***DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY***

**LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**  
***LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT***

Physico-chimie et distribution des macroinvertébrés  
benthiques dans le cours d'eau Esoa, Région du Littoral

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie des Organismes**  
**Animaux**

**Option : Hydrobiologie et Environnement**

Présenté Par :  
**LACTIO Nathaniel Larry**  
**16F2231**

***Licencié ès-Sciences***

Sous la codirection de :

**FOTO MENBOHAN Samuel**  
***Maître de Conférences***

**&**

**ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert**  
***Professeur***



Année 2022

UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

UNIVERSITY OF YAOUNDE I



DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE  
ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

B.P. 812 Yaoundé

Tél. (237) 22-22-56-59

Fax : (237) 22-33-46-96 Cameroun

FACULTÉ DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ANIMAL  
BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

P.O. BOX 812 Yaoundé

Phone : (237) 22-22-56-59

Fax : (237) 22-33-46-96 Cameroon

### ATTESTATION DE CORRECTION DE MEMOIRE

Conformément à l'autorisation de soutenance de Master « Biologie des Organismes Animaux, N° 233-2022/UYI/CRFD-SVSE/URFD-SV/22 du 07 Février 2022 de Monsieur le Coordonnateur de l'école doctorale, le mémoire intitulé « Physico-chimie et distribution des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa, Région du Littoral » présenté le 17 février 2022 par l'étudiant **LACTIO Nathaniel Larry**, a été revu et corrigé suivant les recommandations du Jury.

En foi de quoi la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yaoundé le... 14/03/2022

Examinateur

Le Président du Jury

Le Chef de Département



*Charles Felix  
Bilong Bilong*  
Professeur

# DEDICACE

*À*

*Mes parents*

***NDEMEKON JEAN***

*ET*

***GNOUZEBOU MARTINE***

Que ce manuscrit soit le signe de ma profonde gratitude pour tout le sacrifice, l'amour et  
l'espoir dont vous aviez accordé à mon éducation.

## REMERCIEMENTS

Je rends d'abord grâce à **DIEU**, qui durant ce travail, a su m'épargner de toutes les maladies, m'a guidé, fortifié et réconforté particulièrement au cour de l'étude.

J'exprime ma profonde gratitude envers mon directeur de mémoire le Professeur **Foto Menbohan Samuel** qui m'a fait confiance et m'a attribué ce sujet. Sa disponibilité, sa rigueur scientifique, son encadrement et ses conseils prodigués ont facilité mon intégration dans le monde de la recherche.

Je remercie très sincèrement le Professeur **Zébazé Togouet Serge Hubert**, qui a accepté de co-diriger ce travail, pour sa simplicité, sa rigueur et l'amour du travail bien fait, en dépit de ses multiples tâches administratives et personnelles.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales, notamment les Professeurs **Charles Félix Bilong Bilong, Nola Moïse, Ajeagah Gideon Aghaindum, Essomba Claudine, Fomena Abraham, Djieto Lordon Champlain, Mimpfoundi Rémy, Megnekou Rosette et Kekeunou Sévilor**, et les docteurs **Mougang Marlyse, Noah Ewoti Olive et Tamsa Antoine** qui ont contribué à ma formation.

C'est également le lieu ici pour moi d'adresser mes sincères remerciements à tous mes aînés du laboratoire d'Hydrobiologie pour leur accueil, leurs conseils et leurs critiques constructives. Il s'agit particulièrement du docteur **Biram à Ngon Eric Belmond** de Messieurs **Mbohoun Njoya Zachari, Gwos Nhimock Serge, Tchouta Ulrick Gislain, Dzavi Jean** et Madame **Ngalamou Chamberline**. J'adresse un merci particulier à Mesdemoiselles **Betsi Wilfried, Tchouapi Yvonne** et Monsieur **Sob Nangou Paul**, pour leurs appuis multiformes et leur aide durant les analyses de laboratoire.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous mes camarades de promotion « **ADAPTATION** » pour l'entente et la sympathie dont ils ont su faire preuve, particulièrement à mes partenaires de recherche sur le terrain et au laboratoire.

J'exprime ma profonde gratitude à mes frères et sœurs pour leurs conseils, leurs encouragements et leurs accompagnements durant ce travail.

Je ne saurais terminer ces propos sans témoigner ma reconnaissance à l'endroit de Monsieur **Tima Polenski**, qui nous a conduit durant les campagnes d'échantillonnages et à Madame **Juliane Betsi** pour son accueil chaleureux pendant mon séjour à Nkongsamba.

Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté une aide quelconque trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

# SOMMAIRE

|                                                                                         |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Dédicace.....</b>                                                                    | <b>i</b>    |
| <b>Remerciements .....</b>                                                              | <b>ii</b>   |
| <b>Sommaire .....</b>                                                                   | <b>iii</b>  |
| <b>Liste des abréviations et acronymes .....</b>                                        | <b>v</b>    |
| <b>Liste des figures .....</b>                                                          | <b>vi</b>   |
| <b>Liste des tableaux .....</b>                                                         | <b>viii</b> |
| <b>Liste des annexes .....</b>                                                          | <b>viii</b> |
| <b>Résumé.....</b>                                                                      | <b>ix</b>   |
| <b>Abstract.....</b>                                                                    | <b>x</b>    |
| <b>INTRODUCTION.....</b>                                                                | <b>2</b>    |
| <b>CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....</b>                                        | <b>5</b>    |
| <b>I.1. GENERALITES SUR LES MILIEUX AQUATIQUES .....</b>                                | <b>5</b>    |
| I.1.1. Ecosystèmes lentiques.....                                                       | 5           |
| I.1.2. Ecosystèmes lotiques.....                                                        | 5           |
| <b>I.2. ACTIVITES ANTHROPIQUES ET ALTERATION DES COURS D’EAU .....</b>                  | <b>6</b>    |
| <b>I.3. PARAMETRES HYDROLOGIQUES DES COURS D’EAU .....</b>                              | <b>6</b>    |
| I.3.1. Profil en long .....                                                             | 6           |
| I.3.2. Vitesse d’écoulement des eaux.....                                               | 6           |
| I.3.3. Débit .....                                                                      | 6           |
| <b>I.4. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES COURS D’EAU .....</b>                          | <b>7</b>    |
| I.4.1. Paramètres physiques.....                                                        | 7           |
| I.4.2. Paramètres chimiques .....                                                       | 8           |
| <b>I.5. BIOEVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DES COURS D’EAU .....</b>                  | <b>10</b>   |
| I.5.1. Groupes biologiques utilisés pour le contrôle biologique des hydrosystèmes ..... | 10          |
| <b>I.6. INDICES BIOCÉNOTIQUES .....</b>                                                 | <b>13</b>   |
| I.6.1. Indice de diversité de Shannon et Weaver.....                                    | 13          |
| I.6.2. Indice d’équitabilité J de piélou.....                                           | 13          |
| I.6.3. Coefficient de similarité de Sørensen.....                                       | 13          |
| I.6.4. L’indice EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Tricoptères).....                       | 14          |
| I.6.5. Densité EPT / densité des chironomidés .....                                     | 14          |
| I.6.6. Indice de Pollution Organique (IPO) de Leclercq (2001) .....                     | 14          |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| I.6.7. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) .....                     | 14        |
| <b>CHAPITRES II : MATÉRIEL ET METHODES.....</b>                            | <b>16</b> |
| <b>II.1. MATÉRIEL.....</b>                                                 | <b>16</b> |
| II.1.1. Période d'étude.....                                               | 16        |
| II.1.2. Site d'étude.....                                                  | 16        |
| <b>II.2. METHODES.....</b>                                                 | <b>21</b> |
| II.2.1. Mesure des paramètres hydrologiques .....                          | 21        |
| II.2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques.....                       | 22        |
| II.2.3. Identification et comptage des macroinvertébrés benthiques.....    | 24        |
| II.2.4. Analyse des données et tests statistiques.....                     | 24        |
| II.2.5. Calcul des indices biocénétiques.....                              | 25        |
| <b>Chapitre III : Résultats et discussion .....</b>                        | <b>30</b> |
| <b>III.1. RESULTATS .....</b>                                              | <b>30</b> |
| III.1.1. Paramètres hydrologiques .....                                    | 30        |
| III.1.2. Paramètres physico-chimiques.....                                 | 32        |
| III.1.3. Macroinvertébrés benthiques de l'Esoa .....                       | 36        |
| III.1.4. Effets des paramètres physico-chimiques sur les communautés ..... | 40        |
| III.1.5. Coefficient de similarité de Sørensen .....                       | 41        |
| III.1.6. Indices biocénétiques.....                                        | 41        |
| <b>III.2. DISCUSSION.....</b>                                              | <b>46</b> |
| III.2.1. Paramètres hydrologiques .....                                    | 46        |
| III.2.2. Paramètres physico-chimiques.....                                 | 46        |
| III.2.3. Peuplement de macroinvertébrés benthiques .....                   | 49        |
| III.2.4. Indices biocénétiques.....                                        | 51        |
| <b>CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....</b>                   | <b>54</b> |
| <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>                                    | <b>56</b> |
| <b>ANNEXES.....</b>                                                        | <b>66</b> |

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

|                |                                                                                    |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACP</b>     | : Analyse en Composantes Principales                                               |
| <b>AE</b>      | : Agence de l'eau                                                                  |
| <b>APHA</b>    | : American Public Health Association                                               |
| <b>CCME</b>    | : Canadian Council of Ministers                                                    |
| <b>CEAEQ</b>   | : Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec                       |
| <b>DGRNE</b>   | : Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement               |
| <b>EPT</b>     | : Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères                                        |
| <b>FTU</b>     | : Formazin Turbidity Unit                                                          |
| <b>GPS</b>     | : Global Positioning System                                                        |
| <b>GWP</b>     | : Global Water Partnership                                                         |
| <b>IBGN</b>    | : Indice Biologique Global Normalisé                                               |
| <b>INSC</b>    | : Institut National de Statistique du Cameroun                                     |
| <b>IPO</b>     | : Indice de Pollution Organique                                                    |
| <b>MDDEFP</b>  | : Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs |
| <b>MIB</b>     | : Macroinvertébrés Benthiques                                                      |
| <b>OFEFP</b>   | : Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage                      |
| <b>ONU</b>     | : Organisation des Nations Unies                                                   |
| <b>PNUD</b>    | : Programme des Nations Unies pour le Développement                                |
| <b>Pt-Co</b>   | : Platinium Cobalt                                                                 |
| <b>SPSS</b>    | : Statistical Package for Social Sciences.                                         |
| <b>TAC</b>     | : Titre Alcalimétrique Complet                                                     |
| <b>TDS</b>     | : Total Dissolved Solids                                                           |
| <b>UICN</b>    | : Union Internationale pour la Conservation de la Nature                           |
| <b>UNECE</b>   | : United Nations Economic Commission for Europe                                    |
| <b>U.S.EPA</b> | : United States Environmental Protection Agency                                    |
| <b>UC</b>      | : Unité Conventionnelle                                                            |
| <b>WFD</b>     | : Water-Framework-Directive                                                        |

# LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1 :</b> Carte hydrographique du bassin versant du cours d'eau Esoa.....                                                                                                                     | 18 |
| <b>Figure 2 :</b> Quelques activités anthropiques dans le bassin versant du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                          | 19 |
| <b>Figure 3 :</b> Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Esoa.....                                                                                                               | 21 |
| <b>Figure 4 :</b> Profil en long du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                                                                  | 30 |
| <b>Figure 5 :</b> Variation de la section mouillée des stations d'échantillonnage du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                 | 31 |
| <b>Figure 6 :</b> Variation de la vitesse d'écoulement des eaux (A) et du débit (B) du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                               | 31 |
| <b>Figure 7 :</b> Variation spatiotemporelle de la température (A), la turbidité (B), la couleur (C) et les MES (D) des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                      | 32 |
| <b>Figure 8 :</b> Variation spatiotemporelle de la conductivité électrique (A), des Solides Totaux Dissous (B) et de l'alcalinité (C) des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude...      | 33 |
| <b>Figure 9 :</b> Variation spatiotemporelle du pH (A) et des teneurs en CO <sub>2</sub> dissous (B) des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                     | 34 |
| <b>Figure 10 :</b> Variation spatiotemporelle de l'Oxygène (A) et de l'Oxydabilité (B) des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                   | 34 |
| <b>Figure 11 :</b> Variation spatiotemporelle de l'azote ammoniacal (A), des Nitrites (B), des Nitrates (C), et des Orthophosphates (D), des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude..... | 35 |
| <b>Figure 12 :</b> Variation Spatiotemporelle de l'IPO des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                                   | 35 |
| <b>Figure 13 :</b> Abondance relative des différents embranchements de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude .....                                               | 36 |
| <b>Figure 14 :</b> Variation spatiale (A) et temporelle (B) de la diversité des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                  | 37 |
| <b>Figure 15 :</b> Variation spatiale (A) et temporelle (B) de l'abondance absolue des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                           | 37 |
| <b>Figure 16 :</b> Distribution des macroinvertébrés benthiques des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                          | 38 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 17 :</b> Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                                                                  | 39 |
| <b>Figure 18 :</b> Variation spatiale (A) et temporelle (B) des indices de diversité $H'$ de Shannon et Weaver, de l'indice d'équitabilité $J$ de Piélou et de la diversité maximale ( $H_{max}$ ) des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude..... | 43 |
| <b>Figure 19 :</b> Analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques et les principaux groupes biologiques mesurés et récoltés au niveau des différentes stations d'étude du cours d'eau Esoa.....                                            | 45 |

# LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau I :</b> Limites des classes de l'IPO d'après Leclercq (2001).....                                                                                                   | 27 |
| <b>Tableau II:</b> Interprétation de la moyenne des classes obtenues dans le tableau précédent<br>d'après Leclercq.....                                                        | 27 |
| <b>Tableau III:</b> Interprétation des valeurs de l'IBGN.....                                                                                                                  | 28 |
| <b>Tableau IV:</b> Paramètres hydrologiques du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                                                                                | 30 |
| <b>Tableau V :</b> Variation spatiale de l'abondance relative des différents ordres de<br>macroinvertébrés benthiques des eaux du cours d'Esoa pendant la période d'étude..... | 40 |
| <b>Tableau VI :</b> Evolution du coefficient de similarité entre les stations pendant la période<br>d'étude.....                                                               | 41 |
| <b>Tableau VII :</b> Variation spatiale de l'indice EPT et du rapport densité des EPT/ la densité<br>des chironomidés.....                                                     | 42 |
| <b>Tableau VIII :</b> Variation temporelle de l'indice EPT et du rapport densité des EPT/la densité<br>des chironomidés.....                                                   | 42 |
| <b>Tableau IX :</b> Variation spatiotemporelle des indices de diversité de Shannon et Weaver,<br>de l'indice d'équitabilité J de Piélou et de l'indice de Simpson.....         | 43 |
| <b>Tableau X :</b> Variation spatiale de l'IBGN dans le cours d'eau Esoa pendant la période<br>d'étude.....                                                                    | 44 |

# LISTE DES ANNEXES

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Annexe 1 :</b> Tableau récapitulatif des paramètres physico-chimiques des eaux du cours<br>d'eau Esoa pendant la période d'étude.....                             | 66 |
| <b>Annexe 2 :</b> Variation spatio-temporelle de l'IPO dans le cours d'eau Esoa pendant la période<br>d'étude.....                                                   | 67 |
| <b>Annexe 3 :</b> Tableau de la communauté des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa<br>pendant la période d'étude.....                                    | 68 |
| <b>Annexe 4 :</b> Fréquence d'occurrence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques<br>récoltées dans les différentes stations du cours d'eau Esoa..... | 69 |
| <b>Annexe 5 :</b> Variation temporelle de la qualité des eaux du cours d'eau Esoa pendant<br>la période d'étude.....                                                 | 70 |

# RÉSUMÉ

Une étude visant à déterminer la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques en relation avec quelques facteurs environnementaux a été menée dans le cours d'eau Esoa à Nkongsamba dans la région du Littoral Cameroun de janvier à juin 2021. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés suivant les recommandations d'APHA et Rodier, alors que l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques s'est fait suivant l'approche multihabitat.

L'hydrologie de ce milieu indique une régression de la pente, suivie d'une augmentation de la largeur du lit mineur de l'amont (3,9 m) vers l'aval (6,5 m) et de la vitesse d'écoulement avec néanmoins une légère variation entre les stations Esoa 2 (0,45 m/s) et Esoa 3 (0,44 m/s). Les analyses physico-chimiques révèlent une très bonne oxygénation des eaux, une tendance à la neutralité du pH ( $7,83 \pm 0,8$  UC) avec une température peu variable d'un mois à l'autre soit une moyenne de ( $23,25 \pm 1,83^\circ\text{C}$ ). Ces eaux présentent une concentration en matières organiques croissante de l'amont (faible) vers l'aval (abondante), une faible minéralisation, une concentration élevée en Orthophosphates et faible en composés Azotés. La valeur moyenne (modérée) de l'Indice de Pollution Organique (IPO) enregistrée, témoigne du niveau d'anthropisation peu élevé du milieu, montrant ainsi que les eaux du cours d'eau Esoa subissent des perturbations qui restent néanmoins peu élevées.

Le dénombrement des MIB fait état de 2159 individus réparties en 4 embranchements, 6 classes, 13 ordres, 56 familles et 86 espèces enregistrés. L'embranchement des Arthropodes domine avec 81,2% d'abondance relative, suivi des Mollusques (15%), des Plathelminthes (2%) et des Annélides (1,8%). La classe des Insectes avec 79,99% d'abondance relative et notamment l'ordre des Odonates (35%) est la plus abondante. La richesse spécifique couplée aux indices de diversité de Shannon et Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité ( $J$ ) de Piélou montre que la station Esoa 1 est la plus diversifiée, dominée par les taxons polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) qui indiquent une bonne qualité écologique des eaux. Cette bonne santé écologique se trouve atténuée à la station Esoa 2 avec la disparition des Plécoptères et plus encore à la station Esoa 3 où seule deux espèces d'Ephéméroptères et une de Trichoptères subsistent, avec une prolifération de taxons pollutotolérants (Physidae et Chironomidae).

La qualité des eaux selon l'IBGN varie de très bonne (Esoa 1) à bonne (Esoa 2 et Esoa 3), et s'oppose à l'IPO qui varie de faible à forte. Malgré la contradiction entre ses deux méthodes d'analyses, la forte abondance et la grande diversité des macroinvertébrés du cours d'eau Esoa traduiraient le maintien d'une bonne qualité écologique, ce malgré les pressions anthropiques. Ainsi le cours d'eau Esoa serait de bonne qualité écologique.

**Mots clés :** Esoa, Macroinvertébrés benthiques, Physico-chimie, Qualité de l'eau.

# ABSTRACT

A study aimed at determining the structure of the benthic macroinvertebrate population in relation to some environmental factors was carried out in the Esoa stream in Nkongsamba in the Littoral region of Cameroon from January to June 2021. The physico-chemical parameters were measured according to the recommendations of APHA and Rodier, while the sampling of benthic macroinvertebrates was done according to the multihabitat approach.

The hydrology of this environment indicates a regression of the slope, followed by an increase in the width of the minor bed from upstream (3.9 m) to downstream (6.5 m) and in the flow velocity, with nevertheless a slight variation between the Esoa 2 (0.45 m/s) and Esoa 3 (0.44 m/s) stations. The physico-chemical analyses reveal a very good oxygenation of the water, a tendency towards neutrality of the pH ( $7.83 \pm 0.8$  UC) with a temperature that varies little from one month to the next, i.e. an average of ( $23.25 \pm 1.83^\circ\text{C}$ ). These waters show an increasing concentration of organic matter from upstream (poor) to downstream (rich), a low mineralization, a high concentration of Orthophosphates and a low concentration of Nitrogen compounds. The moderate average value of the Organic Pollution Index (OPI) recorded, testifies to the low level of anthropisation of the environment, thus revealing that the waters of the Esoa watercourse are subject to disturbances which nevertheless remain low.

The MIB count shows 2159 individuals which are divided into 4 phyla, 6 classes, 13 orders, 56 families and 87 species recorded. The Arthropods phylum dominates with a relative abundance 81.2%, of followed by Molluscs (15%), Plathelminths (2%) and Annelids (1,8%). The Insects class with 79.99% relative abundance and in particular the order Odonata (35%) is the most abundant. The species richness coupled with the Shannon and Weaver diversity index ( $H'$ ) and Piélou's equitability index ( $J$ ) shows that the Esoa 1 station is the most diverse, dominated by polluosensitive taxa (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera), which indicate a good ecological quality of the water. This good ecological health is attenuated at the Esoa 2 station with the disappearance of the Plecoptera and even more so at the Esoa 3 station where only two species of Ephemeroptera and one of Trichoptera remain, with a proliferation of pollutant taxa (Physidae and Chironomidae).

The water quality according to the NBI varies from very good (Esoa 1) to good (Esoa 2 and Esoa 3), and contrasts with the IPO which veraies from weak to strong. Despite the contradiction between its two methods of analysis, the high abundance and great diversity of macroinvertebrates in the Esoa stream would reflect the maintenance of good ecological quality of water, in spite of anthropogenic pressures. Thus the Esoa river would be of good ecological quality.

**Key words:** Esoa, Benthic macroinvertebrates, Physicochemistry, Water quality

# INTRODUCTION

# INTRODUCTION

Les écosystèmes d'eau douce comme les lacs, les rivières et les zones humides sont des milieux indispensables à la survie, à la santé, et aux moyens de subsistance. Encore connu sous le nom de plans d'eau intérieurs ou d'écosystèmes aquatiques terrestres, ils assurent la fourniture en eau potable, industrielle et énergétique (ONU, 2018). En plus de leur utilisation comme ressource, ces milieux sont également des habitats essentiels pour la biodiversité. Bien que l'eau douce ne représente que 0,01% de l'eau mondiale, elle est indispensable à la survie de toutes les formes de vie sur la planète et abrite près de 6% de toutes les espèces dénombrées (ONU, 2018). Toutefois, le monde est confronté à des défis considérables en matière de gestion équitable de l'eau douce disponible, à cause d'une forte croissance démographique couplée à une urbanisation rapide et aux impacts du changement climatique (UICN, 2021). De plus, les impacts négatifs de l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides, associés au manque de sensibilisation de la population sur la nécessité de préserver l'intégrité environnementale, conduisent à un déséquilibre des écosystèmes aquatiques et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter ces milieux qui constituent le réceptacle terminal des résidus de la biosphère (Wang *et al.*, 2012). Il est donc essentiel d'assurer une qualité, une disponibilité et un accès adéquat aux ressources en eau douce, afin de maintenir les moyens de subsistance, le bien-être du vivant, le développement socioéconomique, ainsi que le maintien d'écosystèmes sains. Ce qui passe par une évaluation et une surveillance de la qualité physico-chimique et biologique des eaux des cours d'eau ainsi que des législations durement établies.

Au regard de la limite des analyses physico-chimiques qui ne donnent qu'une idée de la contamination au moment même de son introduction, on a de plus en plus recours aux méthodes d'analyse fondées sur l'évaluation biologique qui donne un aperçu général des conditions d'habitat et des pressions environnementales. A cet effet, Friedrich *et al.* (2001) affirment que les organismes aquatiques, par leur diversité de formes taxonomique et fonctionnelles, leur durée de vie variable et leur large distribution dans les eaux courantes, constituent d'excellents bioindicateurs de l'état de santé des hydrosystèmes. Différents groupes d'organismes aquatiques servent à de telles évaluations parmi lesquels le phytoplancton, le zooplancton, les macrophytes, le phytobenthos et les macroinvertébrés benthiques. De tous ces organismes, les macroinvertébrés benthiques constituent le groupe le plus sollicité en raison de leur sédentarité, leur cycle de vie varié, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (MDDEFP, 2013).

Les macroinvertébrés benthiques (MIB) sont des organismes aquatiques visibles à l'œil nu, ne possédant pas de squelette osseux, dont la température varie fortement avec celle de

l'environnement et qui peuvent vivre dans une diversité d'habitats durant tout leur cycle de vie ou une partie seulement de leur phase de développement (MDDEFP, 2013). Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Tachet *et al.* 2010). Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physique (modification de l'habitat), biologique et chimique dans les cours d'eau. Ils sont abondants dans la plupart des rivières marchables et faciles à récolter. De plus leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur la biote résident (Barbour *et al.*, 1999).

De nombreuses études ont été effectuées sur les MIB au Cameroun, afin d'évaluer l'état de santé des cours d'eau situés en zone urbaine et périurbaine. Principalement dans les villes de Douala et Yaoundé, il s'agit par exemple des travaux effectués par Foto Menbohan (2012) sur le Mfoundi, par Onana (2015) sur le Kondi et de Tchakonté *et al.* (2015) dans les cours d'eau urbains de Douala. Ces travaux révèlent que les cours d'eau situés en zone urbaine sont sujets à une pollution essentiellement organique. Par contre, les travaux effectués en zone périurbaine par Foto Menbohan *et al.* (2013) sur le Nga, Biram A Ngon (2013) sur l'Abouda, Nyamsi Tchatcho (2018) sur la Méfou, révèlent que ces cours d'eau sont de bonne qualité écologique. Face à une croissance galopante de la population camerounaise et à une multiplication des problèmes liés à l'accès à une eau de qualité, la connaissance de l'état de santé écologique des milieux aquatiques national se pose comme une nécessité. Cette étude, s'inscrivant dans une continuité des précédents travaux menés sur les MIB avait pour objectif de déterminer la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa en vue d'évaluer son état de santé écologique. Plus spécifiquement il s'est agi :

- De mesurer les paramètres hydrologiques et physico-chimiques du cours d'eau Esoa ;
- D'identifier et de dénombrer les différents taxa de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa ;
- D'apprécier la qualité des eaux du cours d'eau Esoa au moyen des indices biocénétiques.

Ce mémoire s'articule en trois chapitres. Le premier chapitre précédé d'une introduction est consacré à la revue de la littérature, le second chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisées, et le troisième chapitre présente les résultats et la discussion qui en découle. Une conclusion, suivie des recommandations et des perspectives clôture ce mémoire.

## **CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE**

# CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

## I.1. GENERALITES SUR LES MILIEUX AQUATIQUES

Tout milieu aquatique est fondamentalement un écosystème, c'est-à-dire un système unitaire et fonctionnel parce que intégrant une communauté d'organismes vivants (biocénose) avec leur environnement (biotope) (Bonnard *et al.*, 2003).

Les eaux douces continentales sont de deux types : les eaux souterraines (98,5%) et les eaux superficielles (1,5%) (Tachet *et al.*, 2010). Cette eau douce superficielle est répartie en une très grande variété d'écosystèmes aquatiques continentaux que l'on peut regrouper en deux grands types suivant que leurs eaux sont stagnantes (lentiques), ou courantes (lotiques).

### I.1.1. Ecosystèmes lentiques

Les écosystèmes lentiques (ou limniques) caractérisent des eaux calmes à renouvellement lent dans des dépressions du sol (lacs, marécages, étangs, marais, ...) et représentent 1,4% des ressources en eau douce disponible sur terre (Tachet *et al.*, 2006).

### I.1.2. Ecosystèmes lotiques

Les écosystèmes lotiques sont caractérisés par un écoulement rapide de l'eau qui revêt trois aspects : la vitesse d'écoulement, le débit et la nature des fonds avec un haut degré d'hétérogénéité spatio-temporelle (microhabitats). Ils prennent des formes diverses allant du ruisseau peu large au grand fleuve large de plusieurs kilomètres (Allan, 2004). Ces milieux sont caractérisés par l'écoulement des eaux qui dépend principalement de la pente et du débit. La vitesse est liée notamment à la granulométrie qui varie des rochers (taille >1024 mm) aux argiles (taille > 0,0039 mm) (Malavoi et Souchon, 2002). Cette caractéristique confère aux milieux lotiques leurs perpétuels changements physiques, chimiques et biologiques. Les organismes qui peuplent les cours d'eau sont répartis en fonction de leurs exigences vis-à-vis de certaines conditions hydrologiques et physicochimiques d'une part et, d'autre part, en fonction de leur affinité avec les micro-habitats présents (Angelier, 2003 ; Moisan et Pelletier, 2008).

#### I.1.1.1. Caractérisation hydraulique

Les cours d'eau comprennent trois parties principales : une source, un cours principal et une embouchure qui peut, soit correspondre à une confluence s'il s'agit d'un affluent, soit à une véritable embouchure (Tachet *et al.*, 2010). La classification de Illies et Botosaneanu (1963) divise les milieux lotiques en trois tronçons précis : le crénon ou zone de source et des émissaires, le rhitron ou cours moyen et le potamon ou partie inférieure du cours d'eau. Ainsi,

les principaux paramètres permettant de caractériser l'écoulement d'un cours d'eau sont : la vitesse, le débit, le profil en long et la section mouillée. Ils peuvent être influencés par les facteurs abiotiques comme la pente, les saisons et la structure du sol (GWP et PNUD, 2007)

## **I.2. ACTIVITES ANTHROPIQUES ET ALTERATION DES COURS D'EAU**

De nos jours, les milieux aquatiques sont sujets à des modifications temporaires voire permanentes dues à des rejets de polluants qui se traduisent par des perturbations au niveau de leur édifice biologique. En effet, les pressions anthropiques exercées par l'homme sur le milieu naturel sont de plus en plus importantes dues à l'urbanisation, l'industrialisation, la mécanisation et l'intensification de l'agriculture couplées à une explosion démographique sans cesse croissante (Devidal *et al.*, 2007). Ces impacts néfastes entraînent d'année en année l'altération de la qualité des eaux des hydrosystèmes. Les cours d'eau, surtout ceux situés en milieu urbain ou qui le traversent, sont particulièrement plus vulnérables et plus sensibles, car constituent le réceptacle majeur des déchets, des substances ou des composés polluants de l'environnement (Devidal *et al.*, 2007 ; Foto Menbohan *et al.*, 2012 ; Tchakonté *et al.*, 2015).

## **I.3. PARAMETRES HYDROLOGIQUES DES COURS D'EAU**

### **I.3.1. Profil en long**

Le profil en long correspond à l'évolution de la pente depuis la source jusqu'à l'embouchure. Son allure générale est toujours sous forme hyperbolique plus ou moins régulière. Il fournit des renseignements sur la pente qui est en général plus forte en amont qu'en aval (Chuzeville, 1990).

### **I.3.2. Vitesse d'écoulement des eaux**

La vitesse d'écoulement des eaux dépend principalement de la pente, du débit et de la nature des fonds (Newbery et Gaboury, 1993). Elle détermine l'habitat et la répartition des espèces aquatiques (Angelier, 2003). Elle influe sur la qualité physico-chimique des eaux, la nature des dépôts sédimentaires et participe à l'autoépuration des cours d'eau dans la mesure où elle charrie les matières organiques et les détritiques présents dans l'eau (Leynaud et Verrel, 1980). Elle s'exprime en m/s

### **I.3.3. Débit**

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau qui s'écoule par unité de temps et de surface. Le débit est fonction du climat, du relief du bassin versant, de la variation des saisons et de la stabilité des fonds. Il conditionne l'installation des communautés biologiques. Ainsi,

les débits élevés peuvent déstabiliser les organismes mal adaptés et les débits très faibles, engendrer des déficits en gaz dissous (Jullian *et al.*, 2005). Exprimé en m<sup>3</sup>/s

#### **I.4. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES COURS D'EAU**

La qualité physico-chimique d'un échantillon d'eau dépend étroitement du prélèvement qui est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, Matières En Suspension, etc.) (Rodier *et al.* 2009). Des prélèvements effectués pour les analyses, 15 paramètres physico-chimiques ont été mesurés. Parmi les paramètres mesurés, certains sont des descripteurs typiquement représentatifs du degré d'altération anthropique du milieu, alors que d'autres font état de descripteurs représentatifs de la géochimie-hydrochimie naturelle.

##### **I.4.1. Paramètres physiques**

###### **I.4.1.1. Température**

La température représente l'ensemble des conditions atmosphériques variables, traduites subjectivement en sensations relatives de chaud et de froid, et dont l'appréciation exacte est fournie par un thermomètre. Selon Angelier (2003), la température est un facteur écologique primordial dans les eaux courantes. C'est un facteur clé influençant la biologie et la distribution des espèces lotiques qui sont pour la plupart poïkilothermes (Giller et Malmqvist, 1999). Exprimé en degré Celsius (°C)

Dans les systèmes lotiques, l'altitude et l'ensoleillement affectent la température qui, elle aussi, conditionne la solubilité des gaz et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (Hecky, 2000)

###### **I.4.1.2. Matières En Suspension, Turbidité et Couleur**

Les Matières En Suspension (MES) (mg/l) sont constituées de toutes les particules minérales et organiques arrachées par l'érosion pluviale et véhiculées par les eaux ou encore remises en suspension lors des phénomènes de recirculation des eaux (Auby *et al.*, 1994). Ainsi, elles peuvent être un facteur limitant pour l'installation et la croissance de la faune benthique en provoquant la mort suite au colmatage des organes respiratoires (Camacho, 1992). Les teneurs élevées de MES peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, néfaste pour certains groupes d'organismes (Hébert et Légare, 2000).

La turbidité (NTU) traduit la teneur de l'eau en particules troubles en suspension (débris organiques, organismes microscopiques). Son augmentation dans un cours d'eau serait à l'origine de la réduction de la pénétration de la lumière en profondeur (Foto Menbohan *et al.*, 2013).

La couleur (Pt-Co) rend compte de l'évolution des concentrations en matières organiques dans l'eau. Elle est due à la présence de plancton, des matières en solution (acides humiques, fer, manganèse, rejets industriels) dans l'eau. La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire après passage à travers un filtre de porosité 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leurs propres colorants. Les couleurs réelles et apparentes sont proches dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier *et al.*, 2009).

#### **I.4.2. Paramètres chimiques**

##### **I.4.2.1. Potentiel d'Hydrogène**

Le pH (UC) de l'eau indique son degré d'acidité ou d'alcalinité (Chapman *et al.*, 1996). Dans les eaux naturelles peu soumises à la pression anthropique, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature du sol (Faillat, 1990). La limite de tolérance pour les espèces est comprise entre 5 et 8 (Angelier, 2000 ; CRE des Laurentides 2009).

##### **I.4.2.2. Oxygène dissous**

L'oxygène dissous est important pour la vie aquatique et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est l'un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Les conditions d'équilibre écologique normales exigent un minimum de saturation en oxygène de 75%, la situation devenant critique en deçà de 50% (Foto Menbohan et Njiné, 1991). Il est indispensable aux oxydations cellulaires dans l'eau. De plus, l'oxygène dissous conditionne la distribution des organismes aquatiques (Tuekam Kayo, 2007) et sa connaissance permet d'avoir une idée sur celle de la matière organique présente dans l'eau, car elle contribue de façon importante à l'autoépuration des charges polluantes en milieu aérobie sous l'effet des microorganismes (Leynaud et verrel, 1980 ; Ajeagah *et al.*, 2013). Exprimé en % de saturation

##### **I.4.2.3. Conductivité électrique et TDS**

La conductivité électrique (µS/cm) matérialise la teneur en ions mobiles présents dans l'eau. Elle varie en fonction de l'origine des eaux, la nature géologique du substrat, les confluences ou les afférences souterraines, la pollution du support aqueux (Camacho, 1992 ; Jullian *et al.*, 2005). La pollution des eaux peut se traduire par une augmentation de la

conductivité et des TDS et donc une augmentation en sels dissous (Zébazé Togouet *et al.*, 2007). En effet, ces solides totaux dissous entravent la pénétration de la lumière, diminuant ainsi les activités photosynthétiques qui fournissent l'oxygène au milieu et rendent possible l'autoépuration (Cairns, 1978). Exprimé respectivement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et en  $\text{mg}/\text{l}$

#### **I.4.2.4. Formes d'azotes et orthophosphates**

Les formes d'azotes dans la nature dérivent de la dégradation et de l'oxydation de la matière organique du bassin versant, de la synthèse de l'azote atmosphérique et des déchets issus de l'activité anthropique. Exprimé en  $\text{mg}/\text{l}$

Les nitrites ( $\text{mg}/\text{l}$ ) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac (la nitrification n'étant pas conduite à son terme), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. En l'absence de pollution, il y a très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active (Rodier *et al.*, 2009).

Les nitrates ( $\text{mg}/\text{l}$ ) proviennent naturellement du ruissellement des eaux du bassin versant. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement par les rejets des eaux usées, les apports d'engrais sur les sols cultivés et les industries minières (Jullian *et al.*, 2005).

L'azote ammoniacal ( $\text{mg}/\text{l}$ ) constitue l'un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. Il existe en faible proportion (inférieure à  $0,1\text{mg}/\text{L}$ ) dans les eaux naturelles (Rodier *et al.*, 2009). Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman *et al.*, 1996).

Les orthophosphates ( $\text{mg}/\text{l}$ ) représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Les fortes teneurs en orthophosphates entraînent généralement des blooms algaux avec pour conséquences une réduction de l'éclaircissement en profondeur, l'anoxie nocturne, les variations diurnes de pH et à long terme, l'eutrophisation (Devidal *et al.*, 2007 ; Norbert. K et al., 2007 ; Thomas, 2013).

#### **I.4.2.5. Alcalinité**

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure, il s'agit des acides humiques, des phosphates, des citrates et des tartrates. La silice ionique peut aussi interférer notamment lorsque le pH est supérieur à 8,5 (Rodier *et al.*, 2009). Les variations de cette composante sont à rapprocher de celles des degrés de minéralisation des eaux et d'oxydation des composés organiques et enfin de la teneur en anhydride carbonique (Levêque et Balian, 2005). Exprimé en  $\text{mg}/\text{l}$ .

#### **I.4.2.6. Gaz carbonique dissous (CO<sub>2</sub>)**

La teneur en CO<sub>2</sub> est un facteur pouvant influencer de façon significative la distribution des organismes dans un cours d'eau (Angelier, 2003). Elle est directement liée à l'intensité photosynthétique, car les végétaux chlorophylliens en consomment et rejettent de l'oxygène lors de la photosynthèse et inversement lors de la respiration. Exprimé en mg/l

#### **I.4.2.7. Oxydabilité**

Dans les milieux récepteurs, l'oxydabilité correspond à l'estimation globale de la concentration en matières organiques biodégradables. La mesure repose sur la détermination de la quantité de permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>) consommée pour oxydation des matières organiques présentes dans l'échantillon (Verneaux, 1973 ; Derwich *et al.*, 2010). Exprimé en mg/l

### **I.5. BIOEVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DES COURS D'EAU**

La surveillance de la qualité de l'eau basée exclusivement sur la mesure de la concentration de polluants dans l'eau ne permet pas de tirer toutes les conclusions sur la santé d'un l'écosystème. Elle ne renseigne pas sur la qualité de l'habitat, n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection des méthodes analytiques, ni les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents polluants sur les organismes vivants. Des mesures relatives aux êtres vivants sont souvent nécessaires. La surveillance biologique s'avère donc l'outil principal pour évaluer la santé biologique des milieux aquatiques (U.S. EPA, 2002). Les programmes de bio-surveillance très largement utilisés dans l'évaluation de l'impact des pressions anthropiques sur l'environnement aquatique offrent l'avantage d'évaluer le niveau de pollution d'un écosystème aquatique mais, aussi de définir l'état écologique de ces milieux par rapport à un référentiel. La bio-surveillance repose sur l'utilisation d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes biologiques à différentes échelles d'organisation (individu, population et communauté). Il est important de se doter d'indicateurs biologiques fiables et efficaces à même d'apporter des informations sur le stress (anthropique) que subit le milieu et sur les éventuelles dégradations de l'habitat et ce sur une longue période (Cranston *et al.*, 1996 ; Benoît-Charbot, 2014 ; Fennessy *et al.*, 2015). De plus, ces organismes servent de signal d'alarme en cas de perturbation du milieu. Cela constitue un avantage certain dans les rivières, où les conditions environnementales varient spatialement et temporellement (Dukulil, 2003 ; Stevenson *et al.*, 2010). Par ailleurs, l'utilisation de bioindicateurs peut apporter des renseignements sur la biodisponibilité des polluants et une indication intégrée des effets spatio-temporels de ces derniers sur le biote (Hellawell, 1986 ;

Market *et al.*, 2003). La surveillance biologique est reconnue aux Etats-Unis et en Europe, comme une composante essentielle des programmes de surveillance de la qualité des eaux (Barbour *et al.*, 1999 ; WFD, 2003).

Ainsi, les surveillances biologiques et physicochimiques des cours d'eau sont considérées comme des outils complémentaires. En général, la surveillance biologique mesure les effets des perturbations sur les communautés biologiques en place, tandis que la surveillance physicochimique mesure les agents de stress, c'est-à-dire la contamination environnementale (MDDEFP, 2013). En étudiant les communautés biologique d'un cours d'eau, il est possible de montrer l'existence d'une perturbation et d'évaluer la qualité de l'eau, ceci grâce à un certain nombre d'organismes aquatiques témoins de la qualité de l'eau, appelés bioindicateurs. Ces derniers sont sensibles aux pollutions et à toute perturbation du milieu.

### **I.5.1. Groupes biologiques utilisés pour le contrôle biologique des hydrosystèmes**

Les organismes aquatiques, de par leur diversité de formes taxonomiques et fonctionnelles, leur durée de vie variable et leur large distribution, constituent potentiellement d'excellents indicateurs de l'état de santé des hydrosystèmes (Friedrich *et al.*, 2001). Macneil *et al.* (2002) soulignent à cet effet que l'utilisation de certains organismes aquatiques (diatomées, invertébrés benthiques, zooplancton, mousses aquatiques, phytoplancton et poissons) comme indicateurs est plus appropriée et complète les analyses physico-chimiques.

#### **I.5.1.1. Bactéries**

Les bactéries sont généralement utilisées pour évaluer trois aspects de la qualité des eaux : le statut hygiénique, la toxicité aigüe et la mutagénicité (UN/ECE, 1995).

#### **I.5.1.2. Phytoplancton**

Le groupe des algues correspond à l'ensemble des végétaux microscopiques aquatiques faisant partie du phytoplancton. Ces organismes autotrophes vivent dans les milieux d'eau douce ou salée, aussi bien en eau libre que stagnante (Lebon, 1997 ; Noël, 2012). Ce sont des organismes photosynthétiques qui assurent 45% de la production végétale (Leclercq, 2009).

#### **I.5.1.3. Zooplancton**

Le plancton animal appelé le zooplancton, correspond aux organismes aquatiques de très petite taille, flottant librement dans la colonne d'eau et dérivant au gré des courants (CCME, 2011). Les organismes zooplanctoniques sont des consommateurs primaires qui se nourrissent du phytoplancton ou d'autres organismes zooplanctoniques (Benoit-Chabot, 2014). Ils jouent un rôle déterminant dans les réseaux trophiques aquatiques puisqu'ils constituent une source de

nourriture pour les poissons et les invertébrés prédateurs et assurent la régulation des populations d'algues par broutage (Bouzidi, 2010).

#### **I.5.1.4. Poissons**

La position des poissons au sommet de la chaîne trophique aquatique leur confère un rôle d'indicateurs biologiques (DGRNE, 2005). Ils sont susceptibles d'apporter une information originale sur l'état de santé des rivières en raison de leur capacité à intégrer la variabilité de l'environnement à différentes échelles et à refléter les changements dans la communauté toute entière (Charvet, 1995 ; UN/ECE, 1995). Leur grande mobilité leur permet de fuir les pollutions, et par conséquent, ils sont moins utilisés dans le contrôle biologique que les macroinvertébrés benthiques (Charvet, 1995).

#### **I.5.1.5. Macroinvertébrés benthiques**

Les structures des communautés de macroinvertébrés benthiques sont souvent utilisées comme indicateurs des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes des cours d'eau, pour fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et en habitat (Woodcock et Huryn, 2007). Les macroinvertébrés benthiques vivent inféodés à divers types de microhabitats dans les conditions normales, avec une mobilité réduite à quelques dizaines de mètres. Ils n'ont donc pas d'autre choix, mis à part une certaine dérive, que de subir les perturbations soit en s'adaptant, soit en mourant (Charvet, 1995 ; Moisan et Pelletier, 2008).

##### **I.5.1.5.1. Méthodes d'échantillonnages et techniques de prélèvement des macroinvertébrés benthiques**

Bien que plusieurs méthodes d'échantillonnages ont été mise sur pied pour la collecte des macroinvertébrés, aussi bien dans les systèmes lotiques que lentiques, on remarque aujourd'hui une certaine uniformité dans l'usage du matériel utilisé en milieu lotique (Carter et Resh, 2001). Ainsi, les échantillonneurs de type troubleau (ou D-frame) sont les plus utilisés pour les inventaires rapides. L'échelle des diamètres des mailles des filets s'étend de 100  $\mu\text{m}$  à près de 1000  $\mu\text{m}$ , les plus utilisées se situant entre 500 et 600  $\mu\text{m}$  (Carter et Resh, 2001) ; mais aussi les échantillonneurs de type Surber 1/20m<sup>2</sup> de diamètre (25 x 20 cm) avec un filet de 65 cm de profondeur et 500  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille.

La composition des échantillons de macroinvertébrés benthiques est étroitement liée à la diversité des microhabitats prospectés (OFEFP, 2005). Les protocoles d'échantillonnage généralement adoptés découlent de deux principales approches : l'approche monohabitat et l'approche multihabitat (MDDEFP, 2013).

L'approche monohabitat est préconisée pour les cours d'eau à substrat grossier et à écoulement rapide où seuls les seuils et les plats courants sont échantillonnés (MDDEFP, 2013). Cette approche permet de réduire la variabilité des données biologiques lorsque les stations sont comparées entre-elles, mais elle présente l'inconvénient d'être restreinte à très peu de cours d'eau (Stark *et al.*, 2001).

Quant à l'approche multihabitat, bien que variable suivant les écoles, elle prend en compte la diversité des microhabitats présents dans la station (Barbour *et al.*, 1999). Cette approche est applicable à tous les types de cours d'eau marchables (Peck *et al.*, 2001) et la prospection de divers microhabitats permet de récolter une plus grande diversité de taxons de macroinvertébrés benthiques (Moisan et Pelletier, 2011).

Parmi ces deux approches appliquées dans l'étude des macroinvertébrés, l'approche multihabitat est la plus utilisée au Cameroun, grâce à la multitude de microhabitats présents le long des cours d'eaux avec un débit variable et une vitesse d'écoulement généralement constant.

## **I.6. INDICES BIOCÉNOTIQUES**

Dans les domaines de la biologie comme dans tant d'autres, l'évaluation des effets de certains phénomènes sur les individus cibles et ces variations se font grâce à de nombreux indices donc les plus couramment utilisés dans les analyses de la qualité des eaux par l'étude des macroinvertébrés benthiques sont les suivantes : l'indice de diversité de Shannon et Weaver (1963), l'indice d'équitabilité (J) de Piélou (1969), l'indice EPT, l'indice EPT/chironomides, l'IPO et l'IBGN.

### **I.6.1. Indice de diversité de Shannon et Weaver**

L'indice de diversité de Shannon et Weaver tient compte à la fois du nombre de taxons et du nombre d'individus, et permet ainsi de caractériser la structure du peuplement et d'évaluer la régularité de la distribution de chaque taxon.

### **I.6.2. Indice d'équitabilité J de Piélou**

L'indice d'équitabilité (J) de Piélou permet de rapporter la diversité observée à la diversité théorique maximale. Il permet également de comparer les diversités de deux peuplements ayant des nombres d'espèces différents (Dajoz, 2000).

### **I.6.3. Coefficient de similarité de Sørensen**

Le coefficient de similarité de Sørensen permet de comparer sur le plan quantitatif les échantillons provenant des stations différentes et est basé sur le critère présence/absence.

#### **I.6.4. L'indice EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères)**

L'indice EPT est une mesure de la richesse taxonomique des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères qui sont des organismes sensibles à la pollution et à la modification de l'habitat (Moisan et Pelletier 2008). Ainsi, un indice EPT faible traduit un milieu perturbé.

#### **I.6.5. Densité EPT / densité des chironomidés**

Le rapport densité des EPT/densité des Chironomidés traduit par unité de surface, l'abondance des EPT sur l'abondance des Chironomidés. Un ratio inférieur ou égal à 1 indique une communauté déséquilibrée largement dominée par des Chironomidés ce qui traduit un milieu pollué (Berryman *et al.*, 2003).

#### **I.6.6. Indice de Pollution Organique (IPO)**

L'Indice de Pollution Organique (IPO) est une mesure du niveau de pollution organique d'un plan d'eau à un moment donné (Leclercq, 2001). Il est calculé à partir des classes de qualité obtenues pour les concentrations de trois paramètres, à savoir, l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), et les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). La valeur des classes est lue dans le tableau de détermination (Leclercq, 2001) et les résultats obtenus s'échelonnent de 1 (pollution organique très forte) à 5 (pollution organique nulle).

#### **I.6.7. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)**

L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) est un outil diagnostique basé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques ; c'est une méthode standardisée utilisée en hydrobiologie afin de déterminer la qualité biologique d'un cours d'eau. Il permet un classement objectif des qualités biogènes de sites appartenant à des systèmes différents, naturels, modifiés, artificiels ou diversement dégradés (Verneaux, 1980). En raison du caractère intégrateur des organismes étudiés, cette méthode permet de situer la qualité biologique d'un site en dehors de toute présomption relative à la nature d'une quelconque perturbation. Appliquée comparativement, l'IBGN permet d'évaluer l'effet d'une modification du milieu de type naturel (affluence, modification du substrat, réchauffement des eaux...) ou provoquée artificiellement (rejets, recalibrage du lit...).

## **CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## **CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **II.1. MATÉRIEL**

#### **II.1.1. Période d'étude**

L'étude s'est déroulée en deux phases : la première phase durant le mois de décembre 2020 a consisté à la prospection du site en vue d'une meilleure connaissance du bassin versant, du tracé du cours d'eau et du choix des stations d'échantillonnage en fonction de leur représentativité et de leur accessibilité. La seconde phase allant de janvier à juin 2021, a consisté à l'échantillonnage, pour la mesure des paramètres hydrologiques, physicochimiques et biologiques, suivant une fréquence mensuelle.

#### **II.1.2. Site d'étude**

##### **II.1.2.1. Cadre géographique**

###### **II.1.2.1.1. Situation géographique et traits humains**

Nkongsamba est une ville à forte attractivité touristique, située dans la région du Littoral camerounais et s'étend entre 4°57' de latitude Nord et 9°56' de longitude Est. Elle est le chef-lieu du département du Mounjo et distant de 145 kilomètres de la ville de Douala. Elle a été érigée en communauté urbaine de Nkongsamba par décret n°2008/019 du 17 janvier 2008, avec une population en majeure partie cosmopolite et estimée de nos jours à 400.000 habitants (Jumia, 2015).

###### **II.1.2.1.2. Climat**

À Nkongsamba, règne un climat de type équatorial Camerounais ou côtier, chaud et humide, à deux saisons (Suchel, 1972). Une longue saison pluvieuse allant de fin février au milieu du mois de novembre. La pluviométrie de la ville est de l'ordre de 2350mm de pluie par an avec un maximum de précipitations en août et septembre. Et une courte saison sèche de la deuxième moitié de novembre jusqu'en mars. La localité enregistre des températures très variables avec une moyenne maximale supérieure à 28°C et une moyenne minimale de 17°C, avec des amplitudes thermiques variant de 3°C à 4°C (Weather spark, 2016).

###### **II.1.2.1.3. Relief, pédologie et végétation**

Le relief de la ville de Nkongsamba est extrêmement varié. Toutefois il se distingue par de hautes et nombreuses montagnes et des plaines. D'une manière générale, l'élévation du relief se fait par paliers successifs sous la forme d'un escalier. C'est ici qu'on retrouve les hauts sommets : Mont MANENGOUBA (2268 m), le Mont NLONAKO (1800 m) et le Mont KOUPE (2064 m). Ces Monts seraient d'anciens volcans éteints. Il se trouvent sur la chaîne

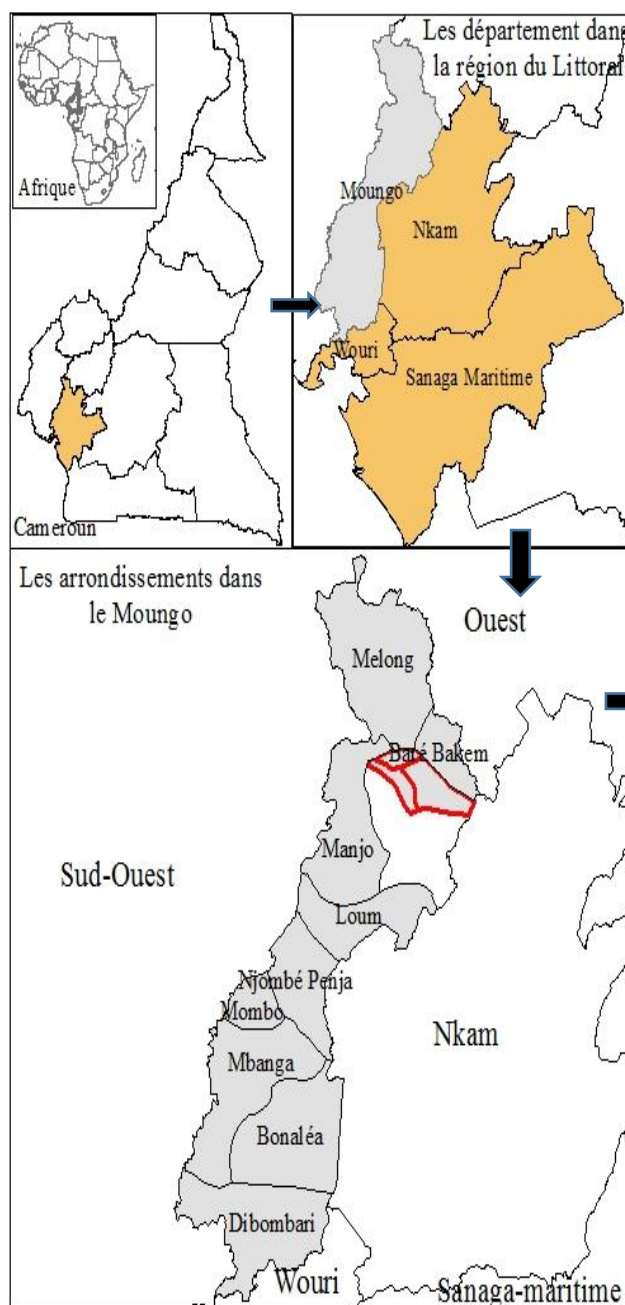
montagneuse encore appelée la dorsale Camerounaise qui traverse le département du Moungo. Le dernier palier se trouve au nord du département et se manifeste sous la forme d'une dépression avec une altitude de 740 m. Il s'agit d'une plaine appelée la plaine des MBOS (Justin Ebanda., 2011).

La pédologie est multiforme, composée principalement de trois types de sols : les sols hydromorphes de couleur dominante jaune à ocre-jaune, les sols ferralitiques de couleur sombre et les sols volcaniques (Segalen, 1958). Ils ont une texture sableuse en surface puis sable-argileuse et parfois argilo-sableuse en profondeur et leur pH est acide (Segalen, 1958).

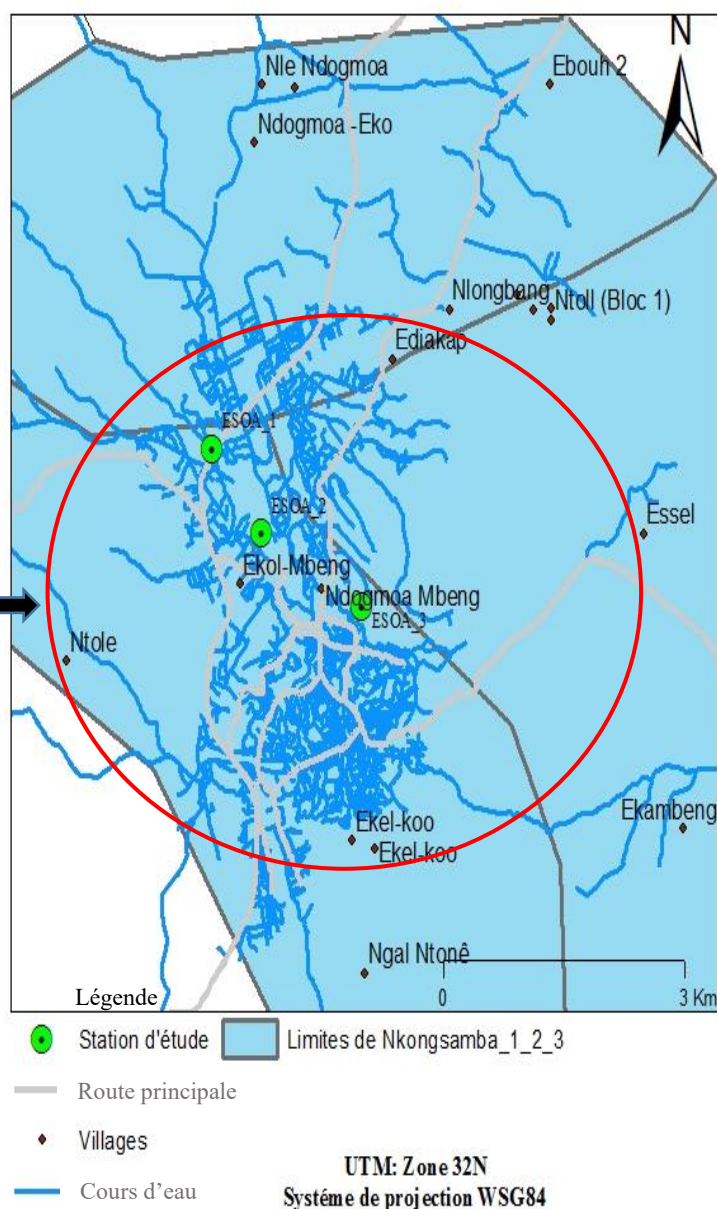
La végétation de la localité présente trois aspects distincts : un aspect dominé par la forêt galerie d'altitude, un autre aspect plus anthropique ceinturant la ville, enfin une végétation infra urbain typique. A l'écart de la ville, une végétation assez herbacée, avec la prédominance des forêts galeries en zone d'altitude. A cette catégorie de végétation s'opposent des îlots de forêts secondaires alternant avec de vastes zones de plantations de caféier, palmier à huile ou de cacaoyer plus ou moins bien entretenues (Cadre de Vie, 2022).

#### **II.1.2.2. Description du bassin versant du cours d'eau Esoa**

Le bassin versant du cours d'eau Esoa est situé dans la région du Littoral, département du Moungo, arrondissement de Nkongsamba qui par décret administratif n°2008/019 du 17 janvier 2008 a été subdivisé en trois communes. Il est délimité au Nord par le village Ndogmoa-Eko, à l'Est par le Village Essel, au Sud par le village Ekel-koo et à l'Ouest par l'arrondissement de Manjo (Figure 1).



## LOCALISATION DU SITE D'ETUDE



**Figure 1 :** Carte hydrographique du bassin versant du cours d'eau Esoa avec les stations d'échantillonnage (réalisé grâce au logiciel QGIS).

### II.1.2.3. Activités pratiquées dans le bassin versant et dans le lit du cours d'eau

Le bassin versant d'Esoa est situé en zone périurbaine. Il est caractérisé par une faible présence humaine principalement le long du crénon et du potamon, mais par une forte agglomération des habitations le long du rhitron. Il est essentiellement envahi par une végétation herbacée et des forêts galeries en zones d'altitudes matérialisé par des arbres et arbustes avec par endroit des plantations de cacaoyer et de palmiers à huile. Les activités pratiquées dans le bassin versant sont surtout la lessive, la vaisselle, la baignade, la chasse au piège, l'abattage des arbres destinés au bois de chauffage et l'agriculture vivrière intensive (manioc, légumes, banane plantain, maïs etc...) et traditionnelle. La production de l'huile de palme constitue l'une des principales activités économiques de ladite localité (Figure 2).



**Figure 2 :** Activités anthropiques dans le bassin versant du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude : A (milieu aquatique comme dépôts de déchets), B (lessive et baignade), C (abattage de la végétation riveraine), D (champ de maïs).

### II.1.2.4. Présentation du cours d'eau Esoa

Long d'environ 6,5 km, le cours d'eau Esoa prend sa source à l'entrée Est de la ville de Nkongsamba à quelques kilomètres du lieu-dit Pont Esoa et coule dans le sens NO-SE, il arrose la ville de Nkongsamba avant de se jeter dans le fleuve Mounjo dans la localité d'Ekel-koo. Sa

source est de type rhéocrène due à la perméabilité homogène des sols. Il apparaît au fond des sols en pente, à débit constant où l'eau a une certaine vitesse d'écoulement dès sa sortie.

#### **II.1.2.5. Stations d'échantillonnage**

Le long du cours d'eau Esoa, trois stations d'échantillonnage désignées Esoa 1, Esoa 2 et Esoa 3 ont été choisies en fonction de leur représentativité et leur accessibilité.

##### **II.1.2.5.1. Station Esoa 1**

La station Esoa 1 (Figure 3A), a pour coordonnées géographiques 04°58'19.0'' N et 009°55'36.9'' E et se situe à 959 m d'altitude dans le crénon à environ 2,2 km de la source au lieu-dit Pont Esoa à quelques mètres de la nationale numéro 3 (Douala-Yaoundé). La végétation riveraine est abondante et dominée par des bananiers (*Musa paradisiaca*), des plantes herbacées, des arbustes et des palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) qui forment une canopée et empêchent par endroits la pénétration des rayons lumineux dans les eaux. Le lit du cours d'eau est constitué d'un substrat sableux et rocheux, des feuilles mortes et des branchages par endroits.

##### **II.1.2.5.2. Station Esoa 2**

La station Esoa 2 (Figure 3B), de coordonnées géographiques 04°57'53.5'' N et 009°55'56.8'' E est située à une altitude de 889 m dans le rhitron, à 1,5 km environ de la station Esoa 1, dans le village Ekol-Mbeng. Les rives sont parsemées d'une végétation herbacée défrichée par endroits et qui jonche le lit du cours d'eau, ralentissant sa vitesse. Elle est entourée sur sa rive droite d'un champ potager où l'on cultive des légumes et du piment et celle gauche par une jachère défrichée. En amont de cette station, les populations riveraines pratiquent la lessive, la vaisselle et la baignade. Le lit du cours d'eau est constitué d'un substrat sableux et rocheux, et est jonché de feuilles mortes, d'emballages plastiques, et de troncs de bananiers. Tout ceci forme un important tapis vaseux.

##### **II.1.2.5.3. Station Esoa 3**

La station Esoa 3 (Figure 3C), est située dans le potamon, à environ 3,7 km de la source et à 2 km de la station Esoa 2. Cette station a pour coordonnées géographiques 04°57'31.5'' N, 009°56'37.4'' E et est située à 803 m d'altitude dans le village Ndogmoa-Mbeng. La largeur du lit varie beaucoup par endroits. L'accès à cette station est facilité par une piste créée par les populations riveraines, située sur une pente très abrupte. Cette station fait suite à une impressionnante chute haute de 15m environ. La végétation est dominée par l'espèce herbacée (*Alchornea cordifolia*) et de grands arbres et arbustes (*Gilbertiodendron dewevrei*), de bananiers et de palmiers à huile qui forment une canopée et empêchent par endroits la

pénétration des rayons lumineux. Le lit du cours d'eau est constitué d'un substrat rocheux et sableux avec des feuilles mortes et des branchages.



**FIGURE 3 :** Vue partielle des stations d'échantillonnage sur le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude : A (Esoa 1), B (Esoa 2), C (Esoa 3) Echelle : 1/12

## **II.2. METHODES**

### **II.2.1. Mesure des paramètres hydrologiques**

#### **II.2.1.1. Profil en long**

Le profil en long du cours d'eau Esoa a été réalisé à partir de la carte topographique de la ville de Nkongsamba et ses environs et à l'aide d'un GPS de marque Garmin model etrex 20X. Les altitudes ont été prises à l'aide du même GPS et les distances entre les stations obtenues à partir des calculs effectués à partir de la carte en fonction de l'échelle.

#### **II.2.1.2. Section mouillée**

Dans le but de délimiter la section mouillée de chacune des stations d'échantillonnage, un transect linéaire a été réalisé grâce à deux piquets implantés l'un sur la rive droite et l'autre sur la rive gauche, à la limite de la zone humide. Sur ces piquets, a été attachée une ficelle horizontale graduée ; par la suite, une règle en bois graduée plongée verticalement dans l'eau a permis de déterminer les profondeurs respectives de l'eau, et de la boue d'une rive à l'autre, en suivant la graduation de la ficelle et de la règle. Les données obtenues ont permis de déterminer graphiquement la largeur du lit, la section mouillée, les profondeurs de l'eau et de la boue à chaque station.

### **II.2.1.3. Vitesse d'écoulement des eaux et débit**

La vitesse (V) d'écoulement des eaux, exprimée en m/s a été mesurée à chaque station par la méthode indirecte qui consiste à déterminer à l'aide d'un chronomètre, le temps (t) exprimé en (s) mis par une plaque en polystyrène pour parcourir une distance (d exprimé en m) préalablement définie et sans obstacle.  $V = \frac{d}{t}$

Le débit de l'eau, exprimé en m<sup>3</sup>/s, a été calculé par la formule  $Q=VS$  ; avec Q=débit en m<sup>3</sup>/s, V=vitesse d'écoulement en m/s et S=section mouillée en m<sup>2</sup>.

## **II.2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques**

Les analyses physico-chimiques se sont déroulées à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de APHA (1998) et Rodier *et al.* (2009). Pour les analyses à effectuer au laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène à double bouchage de 250 et 1000 ml, puis ramenés au laboratoire en enceinte réfrigérée.

### **II.2.2.1. Variables physiques**

#### **II.2.2.1.1. Température**

La température de l'eau a été mesurée sur le terrain « in situ », à l'aide d'un multimètre portatif de marque HANNA et de modèle HI 98130. Les valeurs obtenues ont été exprimées en degrés Celsius °C.

#### **II.2.2.1.2. Matières en Suspension (MES), turbidité et couleur**

Les MES, la turbidité et la couleur de l'eau ont été mesurées au laboratoire par colorimétrie au spectrophotomètre Hydro Test HT1000, les valeurs obtenues ont été exprimées en mg/L, en FTU (Formazin Turbidity Unit) et en Pt-Co (Platinum-Cobalt) respectivement.

### **II.2.2.2. Variables chimiques**

#### **II.2.2.2.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)**

Le potentiel d'Hydrogène a été mesuré sur le terrain « in situ » à l'aide d'un multimètre de marque HANNA modèle HI 98130. Les résultats ont été exprimés en unité conventionnelle (UC).

#### **II.2.2.2.2. Oxydabilité**

L'oxydabilité a été mesurée par volumétrie. Dans un erlenmeyer de 500 ml, on introduit 200 ml d'échantillon d'eau brute, puis 2 ml de carbonate monosodique et l'ensemble est porté à ébullition. Dès le début de l'ébullition, 20 ml de  $\text{KMnO}_4$  N/80 y sont introduits. Après une dizaine de minutes d'ébullition, l'erlenmeyer est refroidi à de l'eau courante, puis 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25% et 20 ml de sel de Mohr y sont ajoutés, ce qui entraîne une décoloration de

l'échantillon. L'échantillon décoloré est ensuite titré au  $\text{KMnO}_4$  N/80 jusqu'à l'obtention de la coloration rose. Le témoin est réalisé dans les mêmes conditions, mais en remplaçant l'échantillon d'eau par de l'eau distillée. L'oxydabilité est exprimée en mg/L d' $\text{O}_2$  et est obtenue par la formule : **Oxydabilité en mg/L d' $\text{O}_2$  =  $\frac{q-q_0}{2} \times 3.95$**

$q$  = descente de burette de l'échantillon ;  $q_0$  = descente de burette du témoin

#### **II.2.2.2.3. Alcalinité**

L'alcalinité a été mesurée au laboratoire par volumétrie en titrant 50 ml d'échantillon d'eau brute avec le  $\text{H}_2\text{SO}_4$  N/50, en présence du rouge vert de méthyle bromocrésol (indicateur coloré). La réaction s'achève lorsque la solution vire du bleu vert au gris. Les résultats exprimés en mg/L d' $\text{HCO}_3^-$  ont été obtenus par la formule suivante : Alcalinité (mg/L d' $\text{HCO}_3^-$ ) = (descente de burette)  $\times$  20

#### **II.2.2.2.4. Gaz Carbonique dissous ( $\text{CO}_2$ )**

Les teneurs en  $\text{CO}_2$  dissous ont été déterminées en 2 étapes :

- Sur le terrain, le  $\text{CO}_2$  est fixé en introduisant dans une fiole jaugée de 200 ml contenant préalablement 20 ml de  $\text{NaOH}$  N/20, 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine, puis de l'eau d'échantillon brute jusqu'au trait de jauge. Le mélange obtenu de coloration rose, est conservé dans un flacon en polyéthylène à double bouchage de 250 ml et ramené au laboratoire.
- Au laboratoire, 50 ml de cet échantillon ont été titrés avec du  $\text{HCl}$  N/10 jusqu'à décoloration complète. La teneur de l'eau en  $\text{CO}_2$  exprimée en mg/L a été déterminée par la formule :

$$[\text{CO}_2] \text{ (mg /L)} = (\text{descente de burette du témoin} - \text{descente de burette de l'échantillon}) \times 17,6$$

#### **II.2.2.2.5. Orthophosphates, formes d'Azote**

La teneur de l'eau en orthophosphates et en composés azotés a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre de marque Hydro Test HT1000 en utilisant les réactifs appropriés (gélules de phosphates 1 et 2 LR, d'ammoniac 1 et 2 LR, et de nitrites LR respectivement).

#### **II.2.2.2.6. Conductivité électrique et Solides Totaux Dissous (TDS)**

La conductivité électrique et les TDS ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multimètre de marque HANNA HI 98130 et les valeurs obtenues ont été exprimées en microSiemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ) et en mg/L respectivement.

#### **II.2.2.2.7. Oxygène dissous**

L'oxygène dissous a été déterminé sur le terrain à l'aide d'un oxymètre de marque HANNA modèle HI 9147 et les valeurs exprimées en pourcentage de saturation en oxygène.

### **II.2.3. Identification et comptage des macroinvertébrés benthiques**

#### **II.2.3.1. Echantillonnage**

La collecte des macroinvertébrés benthiques a été faite suivant une fréquence mensuelle, à l'aide d'un troubleau de forme carrée de 30 cm de côté, muni d'un filet cône de 500 µm d'ouverture de maille et 50 cm de profondeur. L'échantillonnage a été fait suivant l'approche multihabitat proposée par Barbour *et al.* (1999) et Stark *et al.* (2001) et adaptée par Moisan et Pelletier (2011). Ainsi, à chaque station, et à chaque campagne d'échantillonnage, une vingtaine de coups d'épuisette ont été effectués chacun sur environ 50 cm de long, équivalent au total à une surface approximative de 3m<sup>2</sup>, dans une station d'environ 10m de long dans les différents microhabitats (feuilles mortes, roches, vase, branchages...) caractérisés par le couple substrat/vitesse. Le contenu du filet est ensuite transféré sur un tissu blanc (toile) où s'est effectuée la collecte des organismes à l'aide d'une paire de pinces fines, suivie de leur introduction dans des piluliers contenant du formol 10 % pour fixation en vue de l'identification.

#### **II.2.3.2. Identification et dénombrement**

Au laboratoire, les spécimens capturés ont été rincés à de l'eau de robinet pour stopper l'action fixatrice du formol puis conservés dans l'éthanol à 70° avant les opérations d'identification et de comptage. Pour chaque station, les organismes sont introduits dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre, regroupés suivant leurs affinités, leurs ressemblances, leur taille et leur morphologie, puis identifiés et dénombrés sous une loupe binoculaire de marque BRESSER HG878513 à éclairage épiscopique, à l'aide des clés d'identification et ouvrages tels que Durand et Levêque (1991), Heidemann et Seidenbusch (2002), Day *et al.* (2002), De Moor *et al.* (2003), Stals et De Moor (2007), Tachet *et al.* (2010), et MDDEFP (2013).

### **II.2.4. Analyse des données et tests statistiques**

#### **II.2.4.1. Test H de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney**

Le test de Kruskal-Wallis a permis de voir si les données obtenues des paramètres physico-chimiques varient significativement le long du cours d'eau et d'un mois à l'autre.

Le test U de Mann-Whitney a permis de comparer les différents paramètres deux à deux après avoir effectué le test de Kruskal-Wallis pour voir exactement à quel niveau il y'a différence.

Ces deux tests ont été réalisés à partir du logiciel SPSS version 20.0.

#### **II.2.4.2. Coefficient de corrélation de rang de Spearman**

Le Coefficient de corrélation de rang de Spearman permet d'établir le degré de dépendance entre les variables physico-chimiques d'une part, et entre les paramètres physicochimiques et biologiques, d'autre part.

#### **II.2.4.3. Coefficient de similarité de Sørensen**

Le coefficient de similarité de Sørensen a permis d'établir les degrés de ressemblance des différentes familles de macroinvertébrés benthiques entre les stations d'échantillonnage, selon la formule suivante :

$$S = \frac{2C}{a + b} \times 100$$

S : coefficient de similarité

a : nombre de taxons présents dans la première station

b : nombre de taxons présents dans la deuxième station

c : nombre de taxons communs aux deux stations

#### **II.2.5. Calcul des indices biocénétiques**

##### **II.2.5.1. Indice EPT (Ephéméroptères - Plécoptères - Trichoptères)**

L'indice EPT permet de mesurer la richesse des organismes sensibles à la pollution et à la modification de l'environnement (Resh *et al.*, 1995). Cet indice présente l'avantage d'être facile à réaliser.

##### **II.2.5.2. Densité EPT / Densité Chironomidés**

Le rapport densité des EPT / densité des Chironomidés permet de déterminer le degré de stress environnemental que subit le cours d'eau. Selon Rothrock *et al.* (1998), les Chironomidés ont tendance à se retrouver dans les eaux riches en matières organiques. Un ratio inférieur ou égale à 1 indique une communauté déséquilibrée, largement dominée par les Chironomidés (Berryman *et al.*, 2003).

### II.2.5.3. Indice de diversité (H') de Shannon et Weaver

Cet indice permet de faire une comparaison approximative de la diversité taxonomique du peuplement des macroinvertébrés benthiques. Il est indépendant de la taille des échantillons et prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce, permettant ainsi de caractériser l'équilibre du peuplement d'un écosystème. Il est donné par la formule :

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

$P_i$  = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce  $i$  :  $p_i = n_i/N$  ;

$S$  = nombre total d'espèces ;  $n_i$  = nombre d'individus de l'espèce  $i$  dans l'échantillon ;

$N$  = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominante sur les autres) à  $\log_2 S$  (Lorsque toutes les espèces ont la même abondance).

### II.2.5.4. Indice d'équitabilité (J) de Piélou

L'indice d'équitabilité de Piélou a été mis au point pour rendre compte de l'abondance relative de chaque taxon. On peut calculer l'équitabilité à partir de l'équirépartition ou diversité maximale ( $H'_{\max}$ ) qui correspond au cas où toutes les espèces seraient représentées par le même nombre d'individus. Il permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Il s'obtient selon la formule :

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$H'$  = indice de Shannon et Weaver,

$S$  = Richesse spécifique,

$J$  = Indice de Piélou.

Lorsque  $J$  tend vers 1, le peuplement est constitué d'espèces ayant les abondances similaires.

Lorsque  $J$  tend vers 0, une seule espèce domine le peuplement

### II.2.5.5. Fréquence d'occurrence (F)

La fréquence d'occurrence ( $F$ ) d'un taxon est le ratio entre le nombre d'échantillons ( $P_a$ ) d'une station où le taxon est présent par le nombre total ( $P$ ) d'échantillons.

$$F = \frac{P_a}{P} \times 100$$

Trois groupes sont ainsi définis (Dajoz, 1985) : le premier concerne les taxons « très fréquents » avec  $F \geq 50\%$  ; le deuxième groupe correspond aux individus « fréquents » avec  $25\% \leq F < 50\%$  ; les taxons rares forment le troisième groupe avec  $F < 25\%$ . Dans cette étude de

comparaison de retenues, un quatrième groupe est aussi défini : il s'agit des individus absents avec  $F = 0\%$ .

#### II.2.5.6. Indice de Pollution Organique (IPO) de Leclercq (2001)

L'IPO a été réalisé en répartissant les teneurs des ions ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) polluants en cinq classes. Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondante pour chaque ion mesuré et on fait ensuite une moyenne (Tableau I).

**Tableau I :** Limites des classes de l'IPO d'après Leclercq (2001).

| <b>Ions</b><br><b>Classes</b> | <b><math>\text{NH}_4^+</math> (mg/L)</b> | <b><math>\text{NO}_2^-</math> (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b> | <b><math>\text{PO}_4^{3-}</math> (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b> |
|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 5                             | < 0.1                                    | < 5                                                            | < 15                                                              |
| 4                             | 0.1 - 0.9                                | 6 - 10                                                         | 16 - 75                                                           |
| 3                             | 1 - 2.4                                  | 11 - 50                                                        | 76 - 250                                                          |
| 2                             | 2.5 - 6                                  | 51 - 150                                                       | 251 - 900                                                         |
| 1                             | > 6                                      | > 150                                                          | > 900                                                             |

Suite à l'analyse des échantillons, on détermine à quelle classe appartient chacun des ions mesurés. La moyenne est ensuite calculée et la valeur correspondante reportée dans le tableau d'interprétation (Tableau II) pour déterminer ensuite le niveau de pollution. L'IPO présente l'avantage de déterminer aisément l'ampleur de la pollution organique.

**Tableau II :** Interprétation de la moyenne des classes obtenues dans le tableau précédent d'après Leclercq.

| <b>Moyennes des classes</b> | <b>Niveau de pollution organique</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 5.0 - 4.6                   | Nulle                                |
| 4.5 - 4.0                   | Faible                               |
| 3.9 - 3.0                   | Modérée                              |
| 2.9 - 2.0                   | Forte                                |
| 1.9 - 1.0                   | Très forte                           |

#### II.2.5.7. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (AFNOR, 2004)

La méthode de l'IBGN est fondée sur l'étude simplifiée de la faune de macroinvertébrés benthiques. L'indice est donné par un tableau faisant intervenir la nature de la faune récoltée (groupes indicateurs de sensibilité différente aux perturbations) et sa variété. Le calcul de l'IBGN consiste à déterminer :

- La variété taxonomique (VT), correspond au nombre total de taxons récoltés au cours d'un prélèvement, qu'ils soient représentés par 1 ou n individus ;

- Le groupe indicateur (GI) ou groupe repère (GR) le plus "**polluosensible**", c'est-à-dire le taxon indicateur ayant une présence significative dans la station (au moins 3 ou 10 individus selon les taxons) et possédant l'indice le plus élevé possible.

L'IBGN est calculé à partir d'un tableau d'analyse à double-entrée, comportant en abscisses des classes de variété taxonomique (classe 1 à 14) et en ordonnées des groupes faunistiques indicateurs, classés par ordre décroissant (indice 9 à 1) de sensibilité aux pollutions.

L'IBGN peut aussi être calculé suivant la relation :

**IBGN = GI+VT-1**, avec  $IBGN \leq 20$  (Verginie A et B. Dumont, 2010).

GI = groupe faunistique indicateur ; VT = variété taxonomique de l'échantillon

Les résultats obtenus seront comparés aux valeurs du tableau ci-dessous.

**Tableau III : Interprétation des valeurs de L'IBGN**

| IBGN    | $\geq 17$  | 16 – 13 | 12 – 9   | 8 – 5    | $\leq 4$ |
|---------|------------|---------|----------|----------|----------|
| Qualité | Excellente | Bonne   | Passable | Médiocre | Mauvaise |
| Couleur | Bleu       | Vert    | Jaune    | Orange   | Rouge    |

#### **II.2.5.8. Analyse en Composantes Principales des paramètres physicochimiques corrélés aux principaux groupes de macroinvertébrés benthiques.**

Dans cette étude, une ACP a été réalisée entre les paramètres abiotiques et biotiques à partir du logiciel R pour caractériser les stations d'échantillonnage sur la base de l'ensemble des paramètres physicochimiques mesurés ainsi que les affinités biologiques à différentes stations tout au long de l'étude. Cette méthode de statistique factorielle descriptive a pour objectif de présenter sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données de taille importante (Philippeau, 1992). Dans le cadre de cette étude, c'est la matrice de corrélation des paramètres abiotiques et biotiques qui a été utilisée. La phase finale de l'ACP consiste en une représentation graphique qui permet alors d'avoir un aperçu des résultats. Il existe deux types de représentations : le diagramme de dispersion des variables qui est un cercle de corrélations et le diagramme de dispersion des stations.

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

# CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

## III.1. RESULTATS

### III.1.1. Paramètres hydrologiques

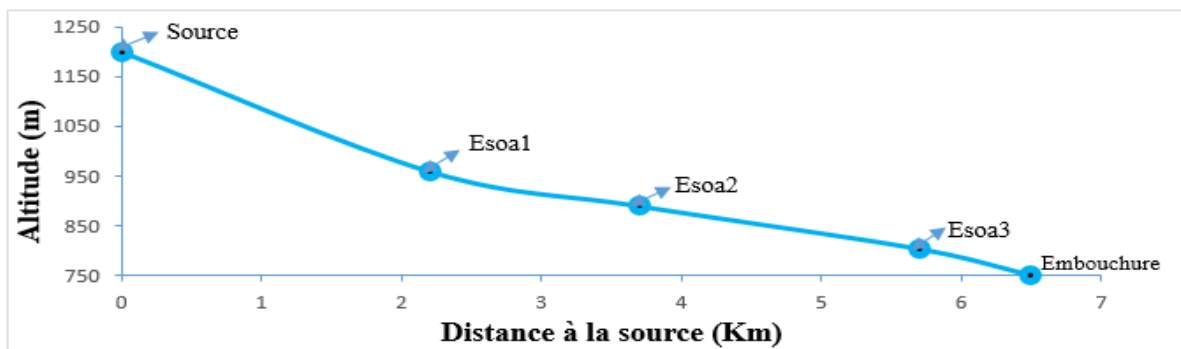
Les résultats des paramètres hydrologiques enregistrés aux différentes stations ont été plus importants à Esoa 3 et moins à Esoa 1, l'exception faite de la pente et de la vitesse où l'on note une augmentation de l'amont vers aval, avec toutefois pour ce qui est de la vitesse une faible variation entre Esoa 2 (0,45 m/s) et Esoa 3 (0,44 m/s) (Tableau IV).

**Tableau IV** : Paramètres hydrologiques du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

| Paramètres                         | Stations |        |        |
|------------------------------------|----------|--------|--------|
|                                    | ESOA 1   | ESOA 2 | ESOA 3 |
| Pente (%)                          | 10,9     | 4,6    | 4,3    |
| Largeur du lit (m)                 | 3,9      | 4,4    | 6,5    |
| Section mouillée (m <sup>2</sup> ) | 1,04     | 1,195  | 1,27   |
| Vitesse (m/s)                      | 0,27     | 0,45   | 0,44   |
| Débit (m <sup>3</sup> /s)          | 0,281    | 0,538  | 0,559  |

#### III.1.1.1 Profil en long

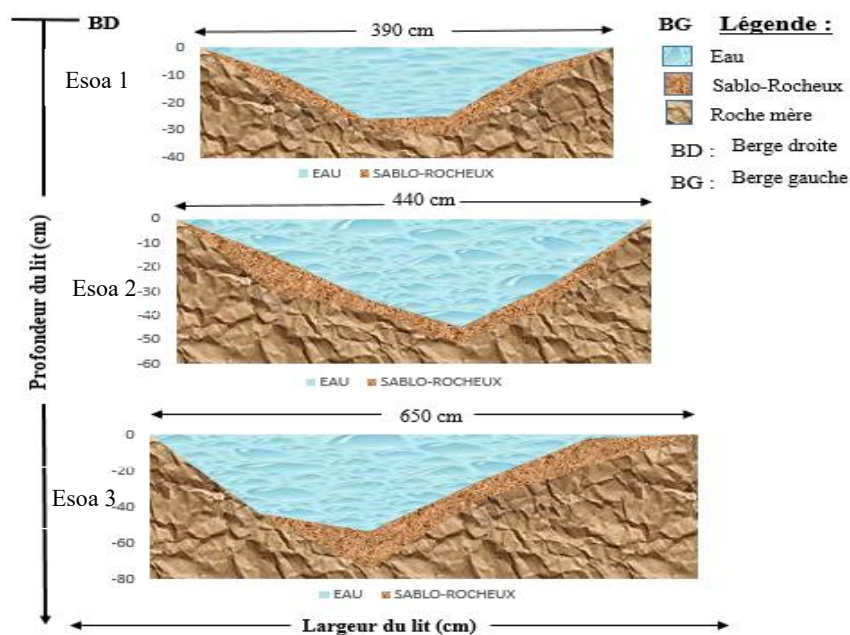
Le profil en long du cours d'eau Esoa (Figure 4) est caractérisé par deux zones de forte pente dont l'une située entre la source et la station Esoa 1 et l'autre, entre la station Esoa 3 et l'embouchure du cours d'eau avec des valeurs respectives (10,9% et 25,4%). On note également deux zones de pente moyenne dont l'une entre les stations Esoa 1 et Esoa 2 et l'autre entre Esoa 2 et Esoa 3 avec des valeurs respectives de 4,6% et 4,3%.



**Figure 4** : Profil en long du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.1.2. Section mouillée, Largeur du lit et épaisseur du substrat

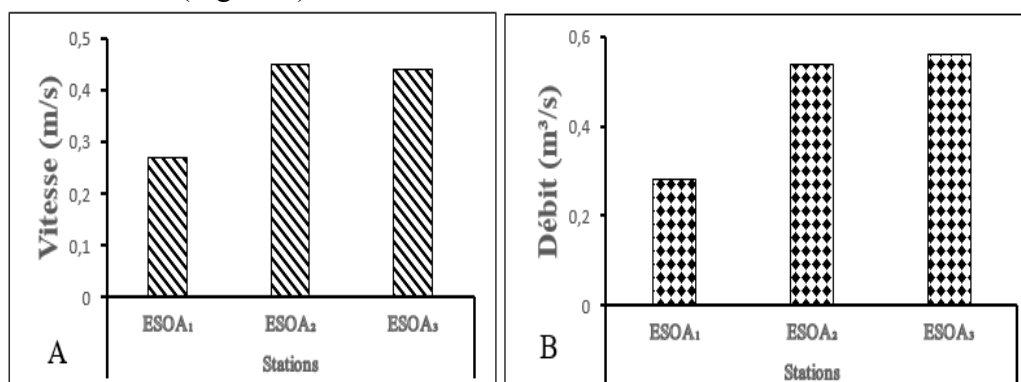
La surface occupée par l'eau varie de 1,04 m<sup>2</sup> (Esoa 1) à 1,27 m<sup>2</sup> (Esoa 3). D'une manière générale, on observe également une augmentation de l'amont vers l'aval de la largeur du lit et de l'épaisseur du substrat le long du cours d'eau Esoa (Figure 5). Cependant, la hauteur de l'eau et du substrat sont très variables d'une station à l'autre et augmentent de l'amont vers l'aval principalement pendant la période de fort stress hydrique (Janvier).



**Figure 5 :** Variation de la section mouillée des stations d'échantillonnage du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.1.3. Vitesse d'écoulement des eaux et débit

La vitesse d'écoulement des eaux et le débit ont varié d'une station à l'autre avec les plus fortes valeurs obtenues à Esoa 2 (0,45 m/s) pour la vitesse d'écoulement et à Esoa 3 (0,56 m<sup>3</sup>/s) pour le débit. Les plus faibles valeurs ont été enregistrées à la station Esoa 1, soit respectivement 0,27 m/s et 0,28 m<sup>3</sup>/s (Figure 6).



**Figure 6 :** Variation de la vitesse d'écoulement des eaux (A) et du débit (B) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.2. Paramètres physico-chimiques

#### III.1.2.1. Paramètres physiques

##### III.1.2.1.1. Température, turbidité, couleur et Matières En Suspension (MES)

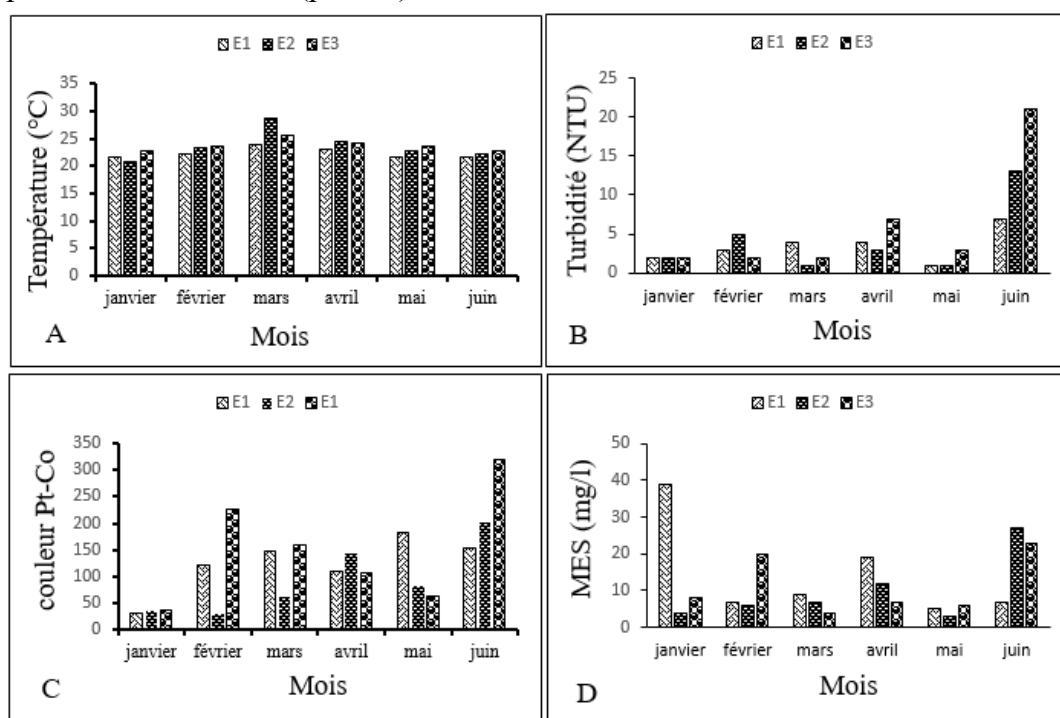
D'une station à l'autre, la température a varié de 20,7°C à 28,8°C. Ses valeurs extrêmes ont été enregistrées à la station Esoa 2 respectivement aux mois de janvier et mars (Figure 7A).

Les valeurs de la turbidité varient de 2 NTU à 21 NTU. Le minimum a été obtenu à toutes les stations au mois de janvier et le maximum à la station Esoa 3 au mois de juin (Figure 7B).

En ce qui concerne la couleur, elle a varié de 30 Pt-Co à 320 Pt-Co. Les valeurs extrêmes ont été enregistrées aux stations Esoa 1 (30 Pt-Co) et Esoa 3 (320 Pt-Co) respectivement aux mois de janvier et juin. La couleur varie autour d'une moyenne de  $122,83 \pm 78,83$  Pt-Co (Figure 7C).

La teneur en matières en suspension a varié de 4 mg/l à 39 mg/l, avec une moyenne de  $11,61 \pm 10,05$  mg/l. Les valeurs extrêmes ont été obtenues aux stations Esoa 1 (4 mg/l) et Esoa 2 (39 mg/l) au mois de janvier (Figure 7D).

Par ailleurs, Ces paramètres ne présentent aucune différence significative sur le plan spatial ( $p \geq 0,05$ ). Par contre sur le plan temporel, ils présentent une différence significative pour la température et la turbidité ( $p \leq 0,05$ ).



**Figure 7 :** Variation spatiotemporelle de la température (A), la turbidité (B), la couleur (C) et les MES (D) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

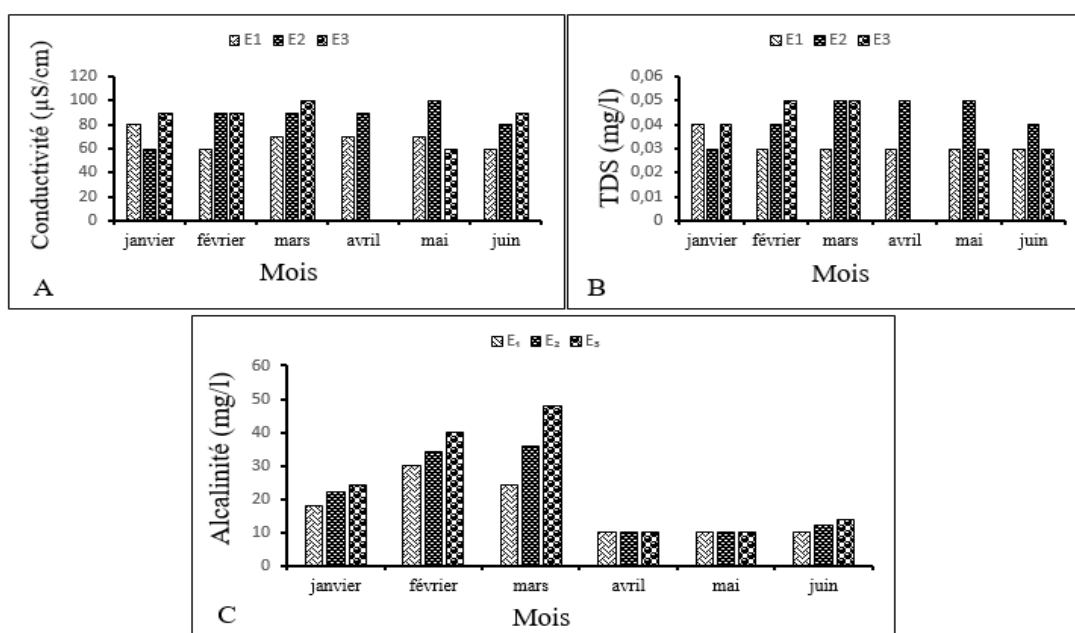
### III.1.2.2. Paramètres chimiques

#### III.1.2.2.1. Conductivité électrique, TDS et alcalinité

La conductivité électrique présente une valeur moyenne de  $75 \pm 23,32 \mu\text{S/cm}$ , avec un maximum de  $100 \mu\text{S/cm}$  enregistré aux stations Esoa 2 et Esoa 3 aux mois de mai et mars respectivement et un minimum de  $60 \mu\text{S/cm}$  à toutes les stations (Figure 8A). Aucune différence n'est significative ( $p \geq 0,05$ ) sur le plan spatiotemporel.

Les valeurs des TDS, ont fluctué autour d'une moyenne de  $0,04 \pm 0,012 \text{ mg/l}$  avec une valeur maximale de  $0,05 \text{ mg/l}$  à la station Esoa 3 au mois de mars à une valeur minimale de  $0 \text{ mg/l}$  à la station Esoa 3 au mois d'avril (Figure 8B). Toutefois, aucune différence significative n'a été observée d'un mois et d'une station à l'autre ( $p \geq 0,05$ ).

Les valeurs de l'alcalinité oscillent entre  $10$  et  $48 \text{ mg/l}$  représentant respectivement la plus petite valeur enregistrée à toutes les stations et la plus grande à la station Esoa 3 au mois de mars (Figure 8C). La différence est significative d'un mois à l'autre ( $p \leq 0,05$ ).



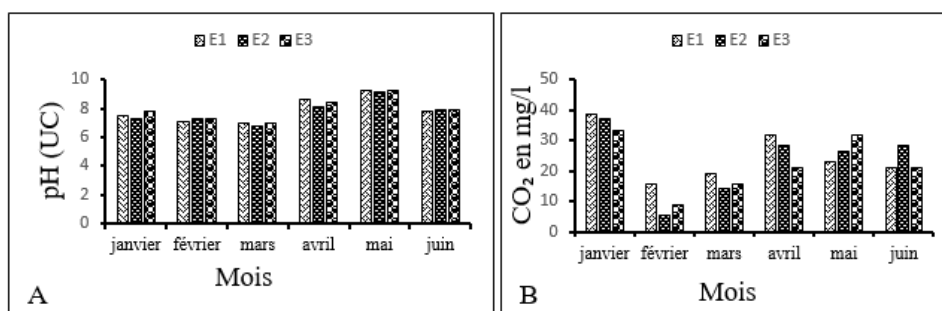
**Figure 8 :** Variation spatiotemporelle de la conductivité électrique (A), des Solides Totaux Dissous (B) et de l'alcalinité (C) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

#### III.1.2.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH) et Gaz carbonique dissous ( $\text{CO}_2$ )

Le pH fluctue entre  $6,73 \text{ UC}$  (mars-Esoa 2) et  $9,25 \text{ UC}$  (mai-Esoa 1) (Figure 9A).

Les valeurs de  $\text{CO}_2$  montrent un maximum de  $38,72 \text{ mg/l}$  à la station Esoa 1 au mois de Janvier et un minimum de  $5,28 \text{ mg/l}$  à la station Esoa 2 au mois de Février, (Figure 9B).

Pour ce qui est du pH et du  $\text{CO}_2$ , la différence est significative que sur le plan temporel ( $p \leq 0,05$ ).



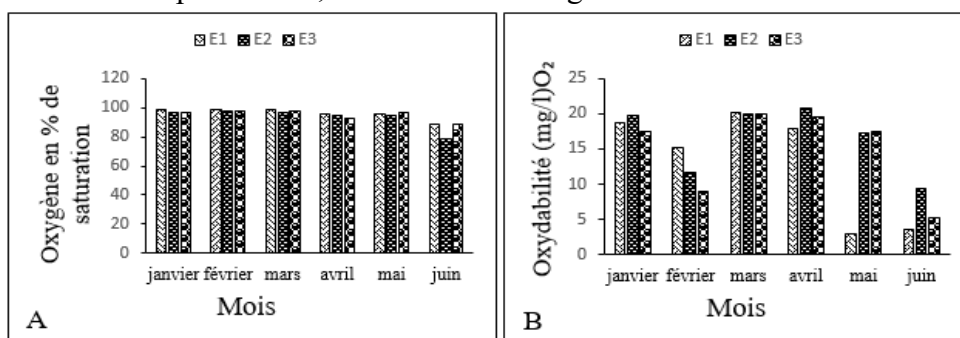
**Figure 9 :** Variation spatiotemporelle du pH (A) et des teneurs en CO<sub>2</sub> dissous (B) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.2.2.3. Oxygène dissous et oxydabilité

Les valeurs de l'oxygène dissous ont varié de 78,37% (Esoa 2-juin) à 99,05% (Esoa 1-mars) (Figure 10A).

Pour ce qui est de l'oxydabilité, elle varie de 2,96 mg/l (Esoa<sub>1</sub>-mai) à 20,73 mg/l (Esoa 2-avril), (Figure 10B).

Pour ces deux paramètres, la différence est significative d'un mois à l'autre ( $p \leq 0,05$ ).



**Figure 10 :** Variation spatiotemporelle de l'Oxygène (A) et de l'Oxydabilité (B) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.2.2.4. Formes d'Azote et Orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

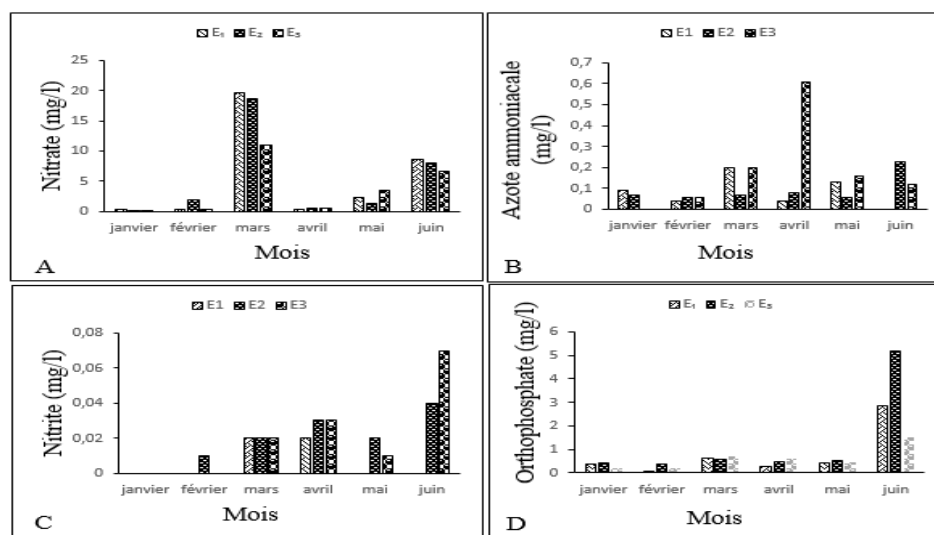
Les teneurs en azote ammoniacal se situent entre 0 mg/l (au mois de juin à la station Esoa 1 et au mois de janvier à la station Esoa 3) et 0,61 mg/l (au mois d'avril à la station Esoa 3), avec une moyenne de  $0,12 \pm 0,14$  mg/l (Figure 11A).

Les teneurs en nitrites varient de 0 à 0,07 mg/l. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au mois de février et mai à la station Esoa 1 et la valeur la plus élevée à la station Esoa 3 au mois de juin (Figure 11B).

Les teneurs en nitrates fluctuent entre 0,14 mg/l (Esoa 2-janvier) et 19,6 mg/l (Esoa 1-mars), avec une moyenne de  $4,57 \pm 6,33$  mg/l (Figure 11C).

Les teneurs en orthophosphates oscillent entre 0,04 mg/l et 5,2mg/l, la valeur la plus élevée étant enregistrée au mois de Juin à la station Esoa 2 et la plus faible au mois de mai à la station Esoa 1 (Figure 11D).

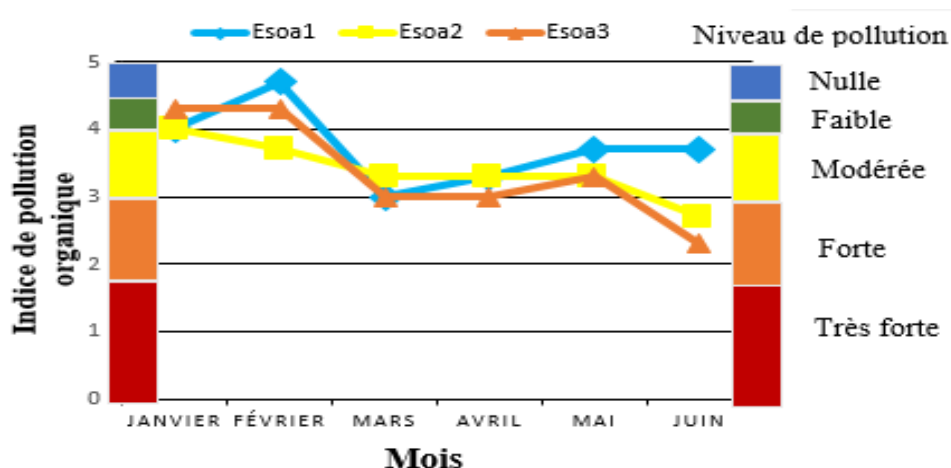
Par ailleurs, ces paramètres présentent des différences significatives sur le plan temporel notamment les nitrites et les orthophosphates ( $p \leq 0,05$ ).



**Figure 11 :** Variation spatiotemporelle des Nitrites (A), de l'azote ammoniacal (B), des Nitrates (C), et des Orthophosphates (D) dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.2.3. Indice de Pollution Organique (IPO) (Leclerc, 2001)

Les valeurs de l'IPO varient de 2,3 (forte) (Esoa 3 et Esoa 2-juin) à 4,7 (nulle) (Esoa 1-février) avec une moyenne de 3,5 (modérée) (Figure 12). Ainsi dans l'ensemble du cours d'eau Esoa, l'IPO indique le niveau de pollution organique est modéré (Figure 12).



**Figure 12 :** Variation spatiotemporelle de l'IPO dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.3. Macroinvertébrés benthiques de l'Esoa

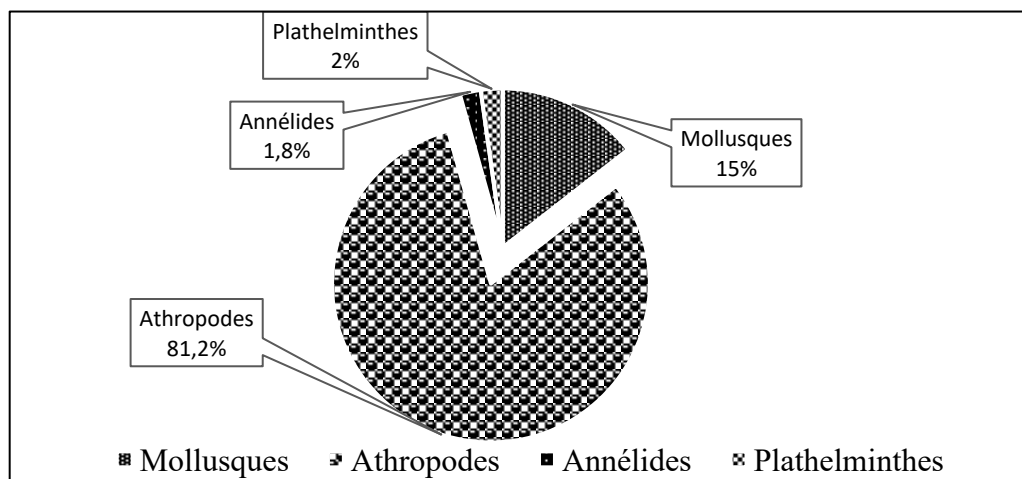
#### III.1.3.1. Structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques

##### III.1.3.1.1. Richesse taxonomique

Un total de 2159 individus appartenant à 4 embranchements (Mollusques, Arthropodes, Annélides et Plathelminthes), 6 classes (Gastéropodes, Crustacés, insectes, Turbellariés, Achètes et Oligochètes), 13 ordres et 56 familles a été récolté pendant la période d'étude. La classe des insectes est la plus diversifiée avec 8 ordres, 46 familles et près de 68 genres, suivie de la classe des Oligochètes avec 1 ordre et 4 familles, de la classe des Gastéropodes avec 1 ordre et 3 familles, et des classes de Turbellariés, de Crustacés et Achètes avec chacune 1 ordre et 1 famille.

Des 13 ordres recensés, 9 ont été très fréquents. Il s'agit des Coléoptères, et des Odonates avec 4 familles, puis des Hémiptères et des Ephéméroptères avec respectivement 2 familles chacune, et enfin des Diptères, des Haplotaxida, des Décapodes et des Tricladida avec chacune 1 famille (Annexe 3).

Des 2159 individus récoltés, les Arthropodes sont les plus abondants avec un total de 1753 individus, soit une abondance relative de 81,2%, suivis des Mollusques 15%, des Plathelminthes 2%, et des Annélides 1,8% (Figure 13).

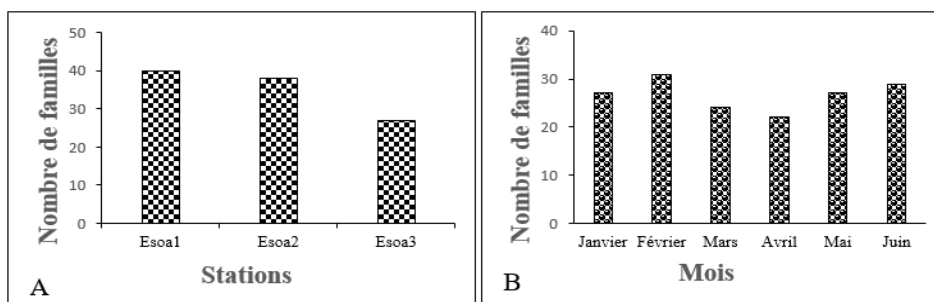


**Figure 13 :** Abondance relative des différents embranchements de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

##### III.1.3.1.2 Variation spatiotemporelle de la richesse taxonomique

Sur le plan spatial, on enregistre un total de 11 ordres et 40 familles à la station Esoa 1 faisant d'elle la station la plus diversifiée, suivie de la station Esoa 2 avec 11 ordres et 37 familles et de la station Esoa 3 avec 11 ordres et 27 familles (Figure 14A).

A l'échelle temporelle, la plus forte diversité s'observe au mois de février avec 11 ordres et 31 familles, et la plus faible diversité au mois d'avril avec 8 ordres et 22 familles (Figure 14B). Les différences sont significatives d'une station à l'autre et d'un mois à l'autre ( $p \leq 0,05$ ) (figure 13B).

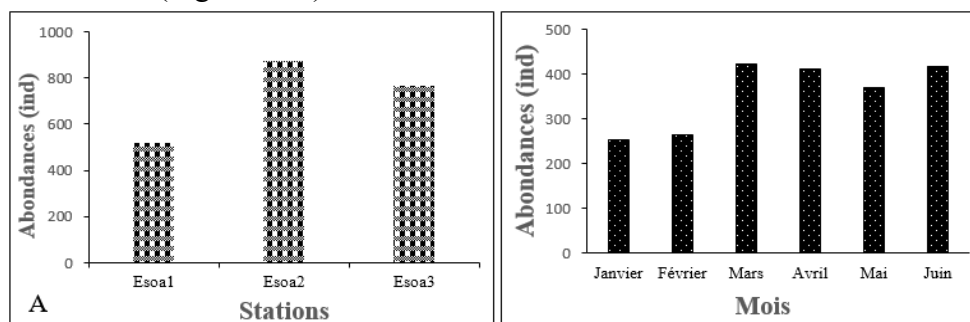


**Figure 14** : Variation spatiale (A) et temporelle (B) de la diversité de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.3.1.3 Variation spatiotemporelle des abondances absolues et relatives

A l'échelle spatiale, la station Esoa 2 présente l'abondance absolue la plus élevée de macroinvertébrés benthiques, soit 875 individus pour une abondance relative de 40,53%, suivie de la station Esoa 3 avec 766 individus, soit 35,46% d'abondance relative et de la station Esoa 1 avec 518 individus, soit 23,98% d'abondance relative (Figure 15A).

Sur le plan temporel, le mois de mars enregistre la plus forte abondance absolue des macroinvertébrés benthiques, avec 423 individus soit 19,59% d'abondance relative. La plus faible abondance absolue est observée au mois de janvier, avec 255 individus soit 11,81% d'abondance relative (Figure 15B).



**Figure 15** : Variation spatiale (A) et temporelle (B) de l'abondance absolue de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.3.1.4. Distribution spatiotemporelle des taxa caractéristiques

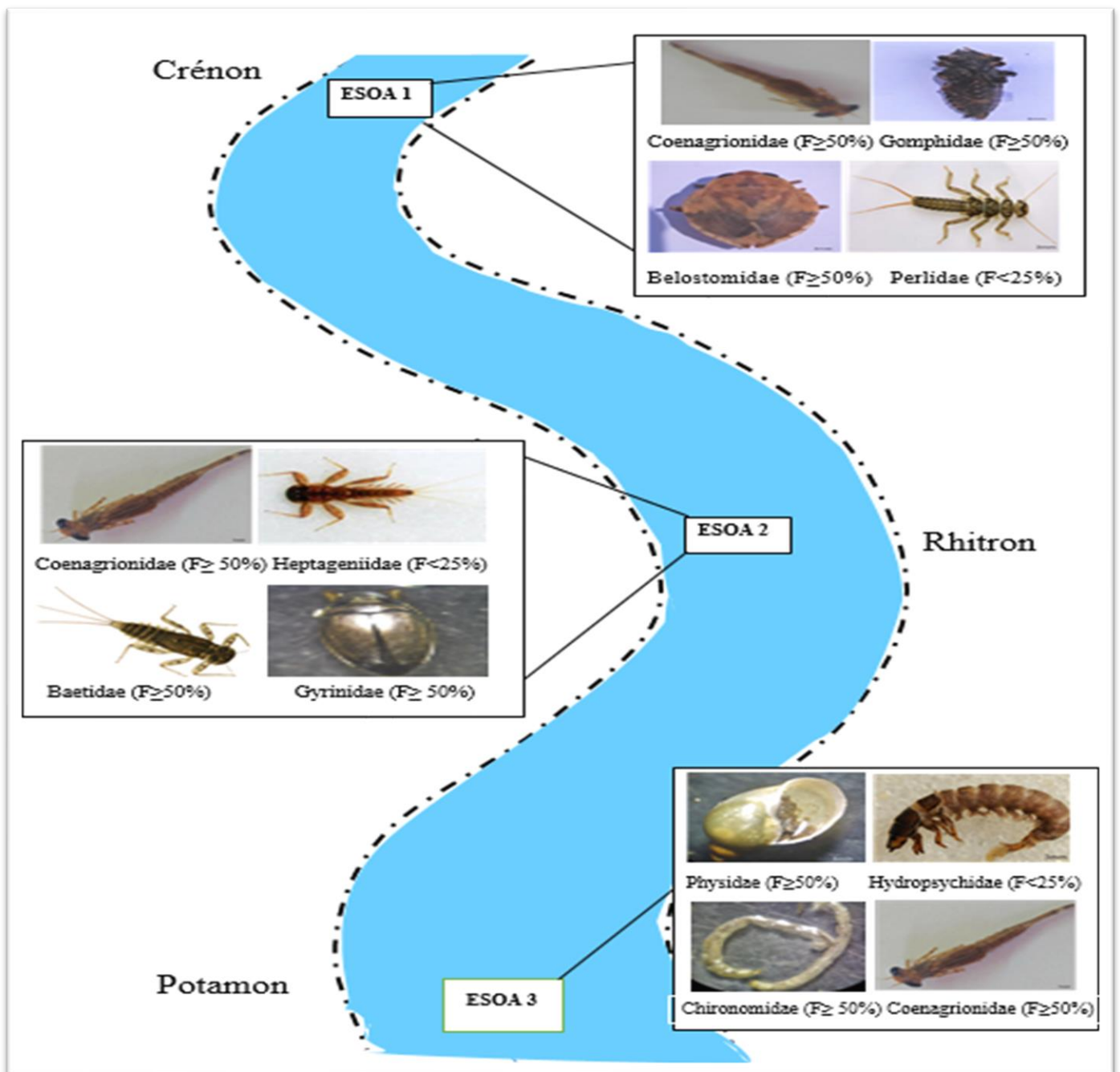
La richesse taxonomique et l'abondance des MIB varient d'une station à l'autre. Ainsi, la station Esoa 1 est la plus diversifiée (40 familles) mais le moins abondante (518 individus), suivie de la station Esoa 2 avec 37 familles et 875 individus et de la station Esoa 3 avec 27 familles et 766 individus.

Des 518 individus récoltés à la station Esoa 1, les familles de Coenagrionidae (47 *Coenagrion pro parte*), de Gomphidae (44 *Gomphus* sp et 2 *Paragomphus* sp), et de Belostomidae (3 *Abedus herberti* et 43 *Possonia* sp) appartenant respectivement à l'ordre des

Odonates et des Hémiptères, constituent les taxons les plus abondants soit 26,83% d'abondance relative total, la famille des Perlidae (*Dinocras* sp) étant la plus polluosensible (Figure 16).

À la station Esoa 2, des 875 individus échantillonnés, la famille des Coenagrionidae (261 *Coenagrion pro parte*) est la plus abondante soit 29,83% d'abondance relative, la famille des Heptageniidae (*Electrogena* sp) étant la plus polluosensible (Figure 16).

Enfin, à la station Esoa 3, des 766 individus récoltés, appartenant à 11 ordres et 27 familles, la famille des Physidae (301 *Physa* sp) est la plus abondante, soit 39,3% d'abondance relative et celle des Glossosomatidae (*Glossosoma* sp), étant la plus polluosensible (Figure 16).

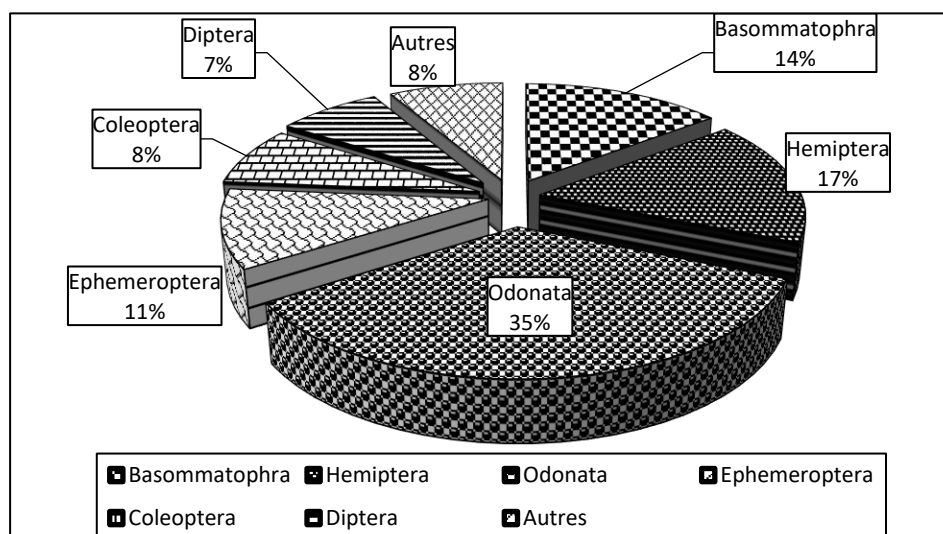


**Figure 16 :** Distribution spatiale des familles dominantes de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

### III.1.3.1.5. Variation de l'abondance relative des ordres de macroinvertébrés benthiques.

Parmi les classes recensées, la classe des Insectes prédomine avec 1727 individus pour une abondance relative de 79,99%. Cette classe compte 8 ordres, 46 familles et près de 68 genres, suivie de la classe des Gastéropodes avec 312 individus (14%), 1 ordre et 3 familles.

Sur les 14 ordres recensés, l'ordre des Odonates domine et compte 746 individus, soit une abondance relative de 35%, suivi des Hémiptères avec 364 individus, soit 17%, d'abondance relative, des Basommatophores (312 individus, soit 14%), des Ephéméroptères (228 individus, soit 11%), des Coléoptères (170 individus, soit 8%), et le reste qui sont les moins représentés regroupés dans "Autres" avec 178 individus, soit 8% d'abondance relative (Figure 17).



**Figure 17 :** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

Sur un total de 13 Ordres récoltés, 12 ont été identifiés à la station Esoa 1 avec une prédominance des Hémiptères (43,63%), suivi des Odonates (27,41%), des Coléoptères (8,69%), des Ephéméroptères (6,95%) et des Trichoptères (6,56%). Les ordres de Basommatophores, Plécoptères, Décapodes, Diptères, Blattodea, Tricladida, et Haplotaxida sont les moins représentés avec une abondance relative cumulée de 6,76% (Tableau V).

La station Esoa 2 à son tour totalise 11 ordres de macroinvertébrés benthiques, avec la prédominance des Odonates (40,91%), suivi des Ephéméroptères (19,43%), des ordres de Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Haplotaxida, Tricladida, Décapodes, Basommatophores, Trichoptères et de Rhynchobdellida avec une proportion cumulée de 39,66%. Toutefois on note l'absence totale des ordres de Plécoptères et de Blattodea à cette station (Tableau V).

A la station Esoa 3, on a enregistré 11 ordres de macroinvertébrés benthiques pendant la période d'étude. L'ordre des Basommatophores domine avec 39,42% d'abondance relative

suivi des Odonates (32,24%), des Diptères (13,57%), des Hémiptères, des Ephéméroptères, des Tricladida, des Coléoptères et des Décapodes avec une abondance relative cumulée de 13,99%. Les Rhynchobdellida, Trichoptères, Haplotaxida sont sous représentés avec une abondance relative de 0,78%. Il est à noter que les Plécoptères et les Blattodea n'ont pas été récoltés à cette station (Tableau V).

**Tableau V :** Variation spatiale de l'abondance relative des ordres de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'Esoa pendant la période d'étude.

| Ordres          | Stations     |              |              | Totaux (%)   |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | Esoa 1       | Esoa 2       | Esoa 3       |              |
| Basommatophora  | 1 (0,19%)    | 9 (1,03%)    | 302 (39,42%) | 312 (14,45%) |
| Decapoda        | 8 (1,54%)    | 11 (1,26%)   | 7 (0,91%)    | 26 (1,2%)    |
| Hemiptera       | 226 (43,63%) | 96 (10,97%)  | 40 (5,22%)   | 364 (16,86%) |
| Odonata         | 142 (27,41%) | 358 (40,91%) | 247 (32,24%) | 746 (34,55%) |
| Plecoptera      | 4 (0,78%)    | 0 (0,00%)    | 0 (0,00%)    | 4 (0,19%)    |
| Trichoptera     | 34 (6,56%)   | 10 (1,14%)   | 2 (0,26%)    | 46 (2,13%)   |
| Ephemeroptera   | 36 (6,95%)   | 170 (19,43%) | 24 (3,13%)   | 228 (10,56%) |
| Coleoptera      | 45 (8,69%)   | 111 (12,69%) | 14 (1,82%)   | 170 (7,87%)  |
| Diptera         | 10 (1,93%)   | 48 (5,49%)   | 104 (13,57%) | 162 (7,5%)   |
| Blattidés       | 7 (1,35%)    | 0 (0,00%)    | 0 (0,00%)    | 7 (0,33%)    |
| Tricladida      | 2 (0,39%)    | 23 (2,63%)   | 23 (2,91%)   | 48 (2,22%)   |
| Rhynchobdellida | 0 (0,00%)    | 1 (0,11%)    | 2 (0,26%)    | 3 (0,14%)    |
| Haplotaxida     | 3 (0,58%)    | 38 (4,34%)   | 2 (0,26%)    | 43 (2%)      |
| Totaux          | 518 (100%)   | 875 (100%)   | 766 (100%)   | 2159 (100%)  |

#### III.1.4. Effet des paramètres physico-chimiques sur les communautés

Des corrélations significatives positives et négatives ont été observées entre les paramètres physico-chimiques d'une part et entre les paramètres physico-chimiques et les principaux groupes de macroinvertébrés benthiques, d'autre part. Ainsi, concernant les paramètres physico-chimiques on a noté des corrélations positives et significatives entre le pH et le CO<sub>2</sub> dissous ( $r=0,530$  et  $p\leq 0,05$ ), la Température et l'Oxydabilité ( $r=0,586$  et  $p\leq 0,05$ ), les Nitrites et les Orthophosphates ( $r=0,631$  et  $p\leq 0,01$ ), l'Azote ammoniacal et les Orthophosphates ( $r=0,560$  et  $p\leq 0,05$ ), la Turbidité et les Orthophosphates ( $r=0,623$  et  $p\leq 0,01$ ), les Nitrates et les Nitrites ( $r=0,496$  et  $P\leq 0,05$ ), les Nitrates et les Orthophosphates ( $r=0,796$  et  $p\leq 0,01$ ), les Nitrates et l'Azote ammoniacal ( $r=0,546$  et  $p\leq 0,05$ ), puis entre l'Alcalinité et l'O<sub>2</sub> dissous ( $r=0,69$  et  $p\leq 0,01$ ). Les corrélations négatives et significatives ont été obtenues entre le pH et l'Oxygène dissous ( $r=-0,679$  et  $p\leq 0,01$ ), le pH et l'Alcalinité ( $r=-0,893$  et  $p\leq 0,01$ ), l'oxygène dissous et la turbidité ( $r=-0,556$  et  $p\leq 0,05$ ), l'Oxygène dissous et les Orthophosphates ( $r=-0,521$

et  $p \leq 0,05$ ), l'Oxygène dissous et les Nitrites ( $r = -0,502$  et  $p \leq 0,05$ ), et puis entre le  $\text{CO}_2$  et l'alcalinité ( $r = -0,541$  et  $p \leq 0,05$ ).

Pour ce qui est des corrélations entre les paramètres physico-chimiques et biologiques, les unes sont positives et significatives parmi lesquelles les Physidae avec la température ( $r = 0,477$  et  $p \leq 0,05$ ), les Coenagrionidae avec les Nitrites ( $r = 0,606$  et  $p \leq 0,01$ ), les Libellulidae avec la température ( $r = 0,528$  et  $p \leq 0,05$ ), les Chironomidae avec la Température ( $r = 0,483$  et  $p \leq 0,05$ ). Et les autres sont négatives et significatives notamment les Belostomidae avec la Température, la Conductivité et les TDS soit respectivement [ $r = -0,484$  et  $p \leq 0,05$ ], ( $r = -0,697$  et  $p \leq 0,01$ ) et ( $r = -0,605$  et  $p \leq 0,05$ )], mais aussi les Heptageniidae avec les Nitrates [ $r = -0,494$  et  $p \leq 0,05$ ].

### III.1.5. Coefficient de similarité de Sørensen

Calculé à partir de la distribution des familles des macroinvertébrés benthiques aux différentes stations, le coefficient de similarité de Sørensen obtenu varie de 51% (Esoa 1 et Esoa 3) à 68% (Esoa 2 et Esoa 3). Des résultats obtenus, ce coefficient montre une très grande similarité dans la composition de la macrofaune récoltée aux stations Esoa 2 et Esoa 3 (Tableau VI).

**Tableau VI :** Evolution du coefficient de similarité entre les stations pendant la période d'étude

| Stations | Esoa 1 | Esoa 2 | Esoa 3 |
|----------|--------|--------|--------|
| Esoa 1   | /////  | 62%    | 68%    |
| Esoa 2   | /////  | /////  | 51%    |
| Esoa 3   | /////  | /////  | /////  |

### III.1.6. INDICES BIOCÉNOTIQUES

#### III.1.6.1. Variation spatio-temporelle de l'indice EPT et du rapport densité des EPT/densité des chironomidés

L'indice EPT enregistré au cours de l'étude varie de 12 (Esoa 1) à 9 (Esoa 2) et 3 (Esoa 3) familles avec une moyenne de  $35 \pm 7$ . Globalement, cet indice diminue de l'amont vers l'aval traduisant un état de perturbation descendante du milieu (Tableau VII). Le rapport densité des EPT/densité des chironomidés oscille entre 0,26 (Esoa 3) et 10,6 (Esoa 1) avec une moyenne de  $5,04 \pm 5,21$ , traduisant l'état de déséquilibre de ce milieu (Esoa 3) largement dominé par les chironomidés (densité EPT/ densité Chironomidés  $< 1$ ) (Tableau VII).

**Tableau VII : Variation spatiale de l'indice EPT et du rapport densité EPT/ densité chironomidés.**

| Descripteurs                          | Stations |       |       |                       |
|---------------------------------------|----------|-------|-------|-----------------------|
|                                       | Esoa1    | Esoa2 | Esoa3 | Moyenne et écart-type |
| Nombre de familles                    | 40       | 38    | 27    | 35±7                  |
| Indice EPT                            | 12       | 9     | 3     | 8±4,58                |
| Densité EPT (ind. /m²)                | 24,67    | 61    | 8,67  | 31,47±26,82           |
| Densité des Chironomides (ind. /m²)   | 2,33     | 14,33 | 33,67 | 16,78±15,81           |
| Densité EPT/ Densité des Chironomides | 10,6     | 4,26  | 0,26  | 5,04±5,21             |

Sur le plan temporel, on note une variation de l'indice EPT de 1 (avril) à 8 familles (janvier et février) avec une moyenne de 5,33±2,66 (Tableau VIII). Le rapport de la densité des EPT/la densité des chironomidés oscille entre 0,01 (avril) et 23,9 (juin) avec une moyenne de 6,66±9,87 (Tableau VIII), cela traduit une très forte charge du cours d'eau Esoa en matières organiques biodégradables principalement au mois d'avril.

**Tableau VIII : Variation temporelle de l'indice EPT et du rapport densité EPT/densité chironomidés**

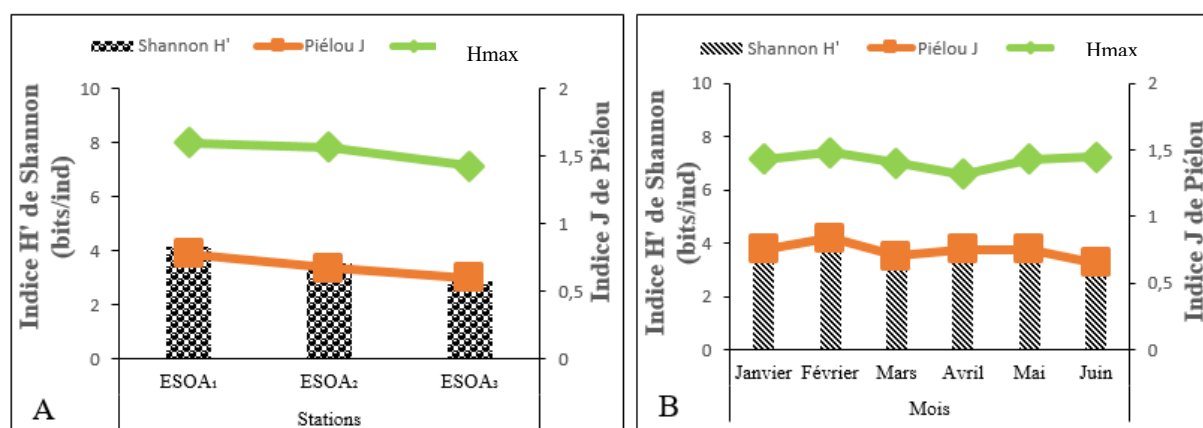
| Descripteurs                          | Mois    |         |      |       |      |       | Moyenne et écart-type |
|---------------------------------------|---------|---------|------|-------|------|-------|-----------------------|
|                                       | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai  | Juin  |                       |
| Nombre de familles                    | 27      | 30      | 25   | 21    | 27   | 28    | 26,33±3,08            |
| Indice EPT                            | 8       | 8       | 5    | 1     | 4    | 6     | 5,33±2,66             |
| Densité EPT (ind. /m²)                | 9       | 20,67   | 3,67 | 0,33  | 3,33 | 55,67 | 15,45±20,98           |
| Densité des Chironomides (ind./m²)    | 0       | 3,67    | 1,33 | 39,67 | 3,33 | 2,33  | 8,39±15,38            |
| Densité EPT/ Densité des Chironomides | ////    | 5,63    | 2,76 | 0,01  | 1    | 23,9  | 6,66±9,87             |

### III.1.6.2. Variation spatiotemporelle des indices de diversité de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Piélou

L'analyse spatiotemporelle des données relatives à la macrofaune benthique du cours d'eau Esoa révèle que, sur le plan spatial, l'indice H' de diversité de Shannon et Weaver diminue de l'amont vers aval, soit de 4,16 bits/ind (Esoa 1) à 2,86 bits/ind (Esoa 3), de même que la diversité maximale qui varie de 1,6 bits/ind (Esoa 1) à 1,43 bits/ind (Esoa 3). Le même constat est fait pour l'indice d'équitabilité J de Piélou qui montre une baisse graduelle de la

diversité de l'amont vers aval, malgré une augmentation de l'abondance de certaines espèces soit de 0,78 bits/ind (Esoa1) à 0,6 bits/ind (Esoa 3) (Figure 18A).

Sur le plan temporel, le mois de Juin est le mois ayant la plus faible diversité (3,14) et le mois de février la plus forte (4,1). Les valeurs de l'indice d'équitabilité J de Piélou quant à elles oscillent de 0,65 au mois de juin à 0,84 au mois de février, de même que les valeurs de la diversité maximale de 1,32 (avril) à 1,48(février) (Figure 18B).



**Figure 18 :** Variation spatiale (A) et temporelle (B) des indices H', J et Hmax dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

**Tableau IX :** Variation spatiotemporelle des indices de diversité de Shannon et Weaver, L'équitabilité J de Piélou et l'indice de Simpson

| Variable                            | Mois/stations |      |      |       |      |      |        |        |        |
|-------------------------------------|---------------|------|------|-------|------|------|--------|--------|--------|
|                                     | Jan           | Fév  | Mars | Avril | Mai  | Juin | Esoa 1 | Esoa 2 | Esoa 3 |
| Abondance absolue                   | 255           | 265  | 423  | 412   | 369  | 417  | 518    | 876    | 766    |
| Indice H' de Shannon et Weaver      | 3,58          | 4,13 | 3,23 | 3,3   | 3,55 | 3,14 | 4,16   | 3,52   | 2,86   |
| l'indice d'équitabilité J de Piélou | 0,75          | 0,84 | 0,7  | 0,75  | 0,75 | 0,65 | 0,78   | 0,67   | 0,6    |
| Indice de Simpson                   | 0,87          | 0,93 | 0,82 | 0,85  | 0,86 | 0,81 | 0,92   | 0,85   | 0,78   |
| Richesse spécifique                 | 27            | 30   | 25   | 21    | 27   | 28   | 40     | 38     | 27     |

### III.1.6.3. Fréquence d'occurrence (F)

Sur les 57 familles de macroinvertébrés échantillonnées, 15 familles sont très fréquentes ( $F \geq 50\%$ ) au niveau de la station Esoa 1, 16 familles à la station Esoa 2 et 12 familles à Esoa 3, soit respectivement les familles des Potamidae, Gerridae, Belostomidae, Vellidae, Naucoridae, Notonectidae, coenagrionidae, Caloptérygidae, Libellulidae, Gomphidae, Caenidae, Gyrinidae, Chironomidae, et les Haplotaxidae (Oligochètes) à Esoa 1 (annexe 4).

Les mêmes familles rencontrées à Esoa 1 sont présentes à Esoa 2 exceptées les Notonectidae et les Haplotaxidae ( $F < 25\%$ ). Cependant, les familles d'Ephéméroptères (Siphonuridae et Dugesiidae) et les Tubificidae sont présent à cette station.

Concernant Esoa 3, nous avons aussi la présence de Potamidae, Belostomidae, Naucoridae, Notonectidae, Coenagrionidae, Caloptérygidae, Libellulidae, Baetidae, Gyrinidae, Chironomidae, Dugesiidae retrouvées pour la plupart aux stations précédentes auxquelles s'ajoutent les Physidae avec tous une fréquence très élevée.

Toutefois, ces stations se distinguent également par la présence des taxons fréquents ( $25\% \leq F < 50\%$ ) (Aeshnidae, Perlidae (Esoa 1), Physidae, Heptagéniiidae (Esoa 2), Corduliidae, Gomphidae (Esoa 3), des taxons Rares ( $F < 25\%$ , et  $F \neq 0\%$ ) (Planorbidae, Pleidae (Esoa 1), Planorbidae, Lymnaeidae (Esoa 2), Lymnaeidae, Veliidae (Esoa 3)) et des taxons absents ( $F = 0\%$ ) (Lymnaeidae, Physidae (Esoa 1), Pleidae, Lestidae (Esoa 2), Gerridae, Heptageniidae (Esoa 3)) (annexe 4).

#### III.1.6.4. L'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) et Qualité de l'eau dans les différentes stations du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

L'IBGN varie de 19 (Esoa 1) à 14 (Esoa 3), indiquant ainsi que les eaux du cours Esoa sont d'excellente qualité (Esoa 1 et Esoa 2), exceptée une légère baisse de cette qualité à Esoa 3 où elle est bonne (Tableau X). Sur le plan temporel, la qualité de l'eau varie de bonne (janvier, mars, avril, mai) à excellente (février et Juin) (Annexe 5).

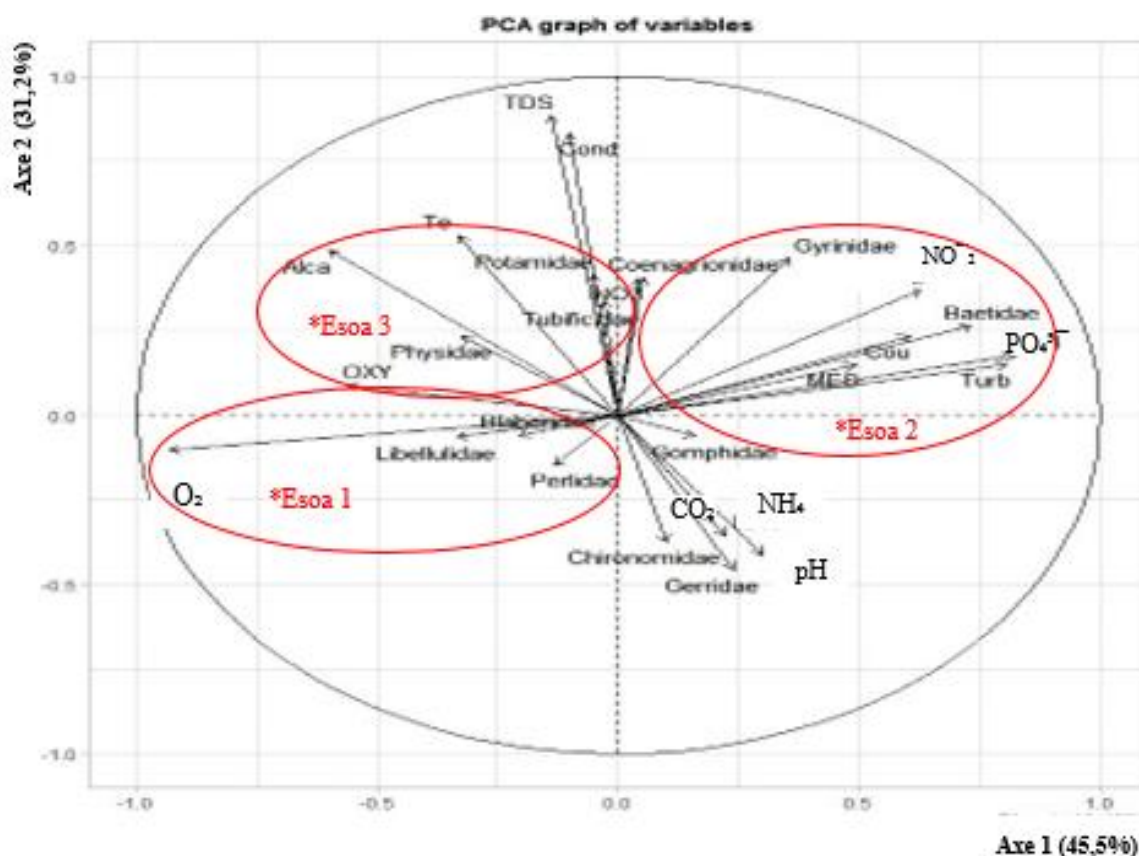
**Tableau X :** Variation spatiale de l'IBGN dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude

| Indice/Stations               | Esoa1             | Esoa2        | Esoa 3       |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| Variété taxonomique           | 40                | 38           | 27           |
| Classes de variétés           | 11                | 11           | 8            |
| Groupe faunistique indicateur | 8                 | 6            | 6            |
| IBGN                          | 17                | 16           | 13           |
| Qualité de l'eau              | <b>Très bonne</b> | <b>Bonne</b> | <b>Bonne</b> |
| Niveau de pollution           | Nulle             | Faible       | Faible       |

### III.1.5.5. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à partir du logiciel R et met en relation les paramètres physico-chimiques et les principales familles de macroinvertébrés benthiques aux différentes stations, nous notons une variation des corrélations suivant deux dimensions : Axe 1 (45,5%) et Axe 2 (31,2%), soit un total de 76,7% et regroupé en trois noyaux.

Le noyau 1 représentant la station Esoa 1 montre des corrélations des Perlidae, des Libellulidae et des Blaberidae à Oxygène dissous ; suivi du noyau 2, représentant la station Esoa 2 avec des corrélations des Coenagrionidae, des Gyrinidae et des Baetidae aux Nitrites, à l'Orthophosphates et à la Turbidité ; et enfin le noyau 3 illustrant la station Esoa 3 avec des corrélations des Physidae, des Potamidae et des Tubificidae à la Température, l'alcalinité et l'oxydabilité. Ainsi, ces différents noyaux traduisent l'état écologique des différentes stations auxquelles ils sont rattachés, montrant une détérioration de la qualité de l'eau de l'amont vers aval. Ceci se matérialise par la disparition des espèces polluosensibles au profit de celles pollutolérantes.



**Figure 19 :** Analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques et les principaux groupes biologiques mesurés et récoltés au niveau des différentes stations d'étude du cours d'eau Esoa.

## III.2. DISCUSSION

### III.2.1. Paramètres hydrologiques

La variation croissante de l'amont vers l'aval de la largeur du lit, de la section mouillée, et du débit du cours d'eau Esoa serait due aux apports latéraux de divers affluents. Lévêque et Balian (2005) soulignent à ce propos qu'en recevant les petits tributaires, la section mouillée est amenée à s'accroître. La faible valeur de la vitesse d'écoulement à la station Esoa 1 (0,27m/s) malgré la pente (10,9%) se justifie par la présence en aval de cette station d'un pont. À cet effet, MDDEFP (2013) souligne que, la présence des structures artificielles telles que les barrages, et les ponts modifient la vitesse d'écoulement des eaux en amont de ces structures. Car cela crée des masses d'eaux plus importantes aux lieux de construction de l'infrastructure ce qui ralentit considérablement le courant de l'eau en amont.

### III.2.2. Paramètres physico-chimiques

Les faibles valeurs de la température enregistrées seraient dues au microclimat créé par la canopée qui réduirait la pénétration des rayons lumineux responsables de l'élévation de la température du milieu. A cet effet, Liechti *et al.* (2004) soulignent que la température des eaux de surface est étroitement influencée par la température ambiante et les saisons. Vannote *et al.* (1980), Foto Menbohan *et al.* (2012) et Qiu (2013) corroborent en ajoutant que, dans les cours d'eau forestiers, les températures sont basses et varient très peu. Ce résultat s'apparente à ceux de Tchouta (2018) sur le Non, Ndourwe (2021) sur le cours d'eau Ndog-Bissolo et Tchakonté *et al.* (2015) sur les cours d'eau périurbains de la ville de Douala. La destruction localisée de la ripisylve du fait des activités humaines entraîne des modifications du régime thermique dans au niveau de la station Esoa 2. Des observations similaires ont été rapportées dans le bassin versant de la Méfou par Nyamsi (2018).

Les valeurs de pH (6,73UC-9,25UC) enregistrées traduisent la nature légèrement acide à basique des eaux du cours d'eau Esoa avec une moyenne de  $7,83 \pm 0,8$ UC. Cette fluctuation serait liée à divers facteurs tels que la nature géologique du sol (hydromorphes, ferralitiques et volcanique), l'activité des organismes aquatiques, les rejets d'eaux usées et différents déchets introduits dans le lit du cours d'eau. En effet, Temgoua *et al.* (2003), Mbage (2004) soulignent que le pH des eaux naturelles dépend de la nature géologique des roches sous-jacentes et des sols drainés. De même, Ngambi (2015) suggère que les déchets ménagers contribuent à modifier fortement le pH des eaux superficielles. Ce pH s'apparente à celui obtenu par Domche (2012) sur le Kondi (5,5UC-10,2UC) et par Tchakonté (2016) sur les cours d'eau Périurbains de la ville de Douala (Tongo'a-Bassa et Mgoua), mais diffère de celui obtenu par Ndourwe

(2021) sur le cours d'eau forestière Ndog-Bissolo (5,25UC-7,34UC) situé dans la même région écologique. Ce qui montre ainsi l'influence des activités anthropiques sur la modification du pH d'un milieu.

Le degré de minéralisation (conductivité électrique) du cours d'eau Esoa ( $75 \pm 23,32$   $\mu\text{S/cm}$ ) est en moyenne faible d'après la classification de Rodier *et al.* (2009). Ce cours d'eau est donc sujet à une pollution organique mais de façon modérée. Il s'apparente aux valeurs obtenues par Onana (2015) et par Tchakonté *et al.* (2015) sur les cours d'eau peu anthropisés de la région du littoral. Toutefois on note que ce paramètre, tout comme le pH traduit l'état d'intégrité des zones géographiques drainées et est également influencé par les eaux de précipitation qui diluent la concentration des ions du milieu.

La turbidité ( $4,05 \pm 5,4$  FTU), la couleur ( $122,83 \pm 78,83$  Pt-co) et les MES ( $11,61 \pm 10,05$  mg/l). Présentent des valeurs conformes à la Grille de SEQ-Eau (MEDD et Agence de l'eau, 2013) dans les gammes de qualité très bonne à médiocre, donc nécessitant un traitement complexe pour la production d'eau potable en ce qui concerne la couleur et un traitement simple pour les MES et la turbidité. Les résultats s'apparentent à ceux obtenus par Onana (2015) sur le Kondi, par Tchakonté (2016) sur le Tongo'a-Bassa. Toutefois, les fortes valeurs de ces paramètres (21 FTU, 320 Pt-co et 39 mg/l) obtenues aux mois de juin (turbidité et couleur) et de janvier pour les MES. Cette variation des matières en suspension pourrait s'expliquer par la perte du feuillage et des branchages par les arbres qui forment la canopée et les activités de défrichage des terres riveraines associées à l'effondrement d'une rive fragile pendant la saison sèche, mais aussi par les phénomènes de ruissellement avec le retour des pluies. Cela se justifie par une baisse considérable de la teneur en matières en suspension au crénon avec le retour de la saison des pluies. Pour ce qui est de la turbidité et de la couleur, la forte augmentation au mois de juin serait due d'une part à la décomposition de la matière organique issue du phénomène de ruissellement et d'autre part, au substrat de fond qui libère dans le milieu des substances telles que les acides humiques et les substances colloïdales.

Les teneurs élevées en orthophosphates dans le cours d'eau Esoa (0,04 mg/l à 5,2 mg/l) sont supérieures à 0,5 mg/l suggérées par Rodier *et al.* (2009). Ces concentrations en orthophosphates résulteraient donc de l'apport de la matière organique provenant notamment des eaux usées domestiques des lessives et baignade riche en substances détergentes. Rodier *et al.* (2009) affirment à cet effet que la teneur en orthophosphates dans un plan d'eau dépend des apports exogènes. En revanche, les fluctuations spatio-temporelles de ces ions montrent des valeurs élevées en relation en relation directe avec les apports de rejets d'eaux usées domestiques

et à la minéralisation de la masse critique de matière organique déversée soit directement dans le cours d'eau ou simplement acheminée par les eaux pluviales et de ruissellement. A ce propos, Wang *et al.* (2014) soulignent que l'activité métabolique des bactéries dénitrifiantes diminue avec urbanisation associée à la multiplication des facteurs stressants.

Les teneurs élevées en éléments azotés ( $\text{NH}_4^+$  (0 mg/L à 0,61 mg/L) et  $\text{NO}_3^-$  (0,14 mg/L à 19,6 mg/L)) dans le cours d'eau Esoa proviennent des apports allochtones de matière organique et de déchets métaboliques azotés émanant de l'activité humaine et principalement des activités agricoles menées dans le bassin versant du cours d'eau ou s'étend des zones d'habitations. Les teneurs peu élevées d'ammonium, pourraient s'expliquer par l'importante décomposition de la matière organique s'accompagnant d'une importante consommation d'oxygène dissous. Les faibles teneurs de nitrites (0 mg/L à 0,07 mg/L) seraient dues aux jachères abondantes dans le bassin versant et le long du potamon, donc à une faible utilisation des engrais chimiques.

Le pourcentage de saturation en oxygène dissous montre une oxygénation moyenne de 90% à toutes les stations. Ce résultat est dans la gamme de qualité très bonne donc propice pour l'épanouissement des organismes aquatiques selon la grille de SEQ-Eau (MEDD et Agence de l'eau, 2013). Ses fortes valeurs de l'oxygène dissous enregistrées pendant l'étude seraient dues à la forte activité photosynthétique des végétaux aquatiques, à la ventilation naturelle induite par le feuillage, à la présence de radiers et des méandres qui créent des conditions de turbulence et de circulation des eaux, favorisant leur ré-oxygénation à l'interface eau/air (Fernandes et al., 2014), mais aussi des cascades le long du cours d'eau Esoa qui favoriseraient également le brassage et l'oxygénation des eaux. Ainsi, MDDEFP (2013) souligne que les seuils des cours d'eau sont continus et la présence de blocs ou de cascades crée une forme de sinuosité améliorant la structure du cours d'eau et favorisant son oxygénation. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Tchakonté (2016) sur les cours d'eau périurbains de Douala.

Les valeurs élevées de l'oxydabilité (2,96 mg/L à 20,73 mg/l) du cours d'eau Esoa traduisent une forte pollution en matière organique et minérales oxydables issues principalement de l'anthropisation, mais aussi des végétaux aquatiques qui abondent les rives. À ces propos, Rodier *et al.* (2009) soulignent que les valeurs de l'oxydabilité dans les eaux de surface supérieures à 1mg/l d'O<sub>2</sub> indiquent une forte pollution organique. Des résultats similaires ont été observés dans les cours d'eaux anthropisées de la région du littoral par Onana (2015) et par Tchakonté *et al.* (2015).

Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) correspondent à un niveau de pollution allant de forte à nulle avec une moyenne générale modérée. Ces valeurs modérées de l'IPO reflètent des teneurs élevées en  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ , traduisant une pollution organique relativement peu élevée du cours d'eau Esoa tout en indiquant un début d'altération des eaux de la zone d'étude. Cette pollution organique modérée le long du rhitron et du potamon est la conséquence des apports diffus et permanent de déchets ménagers et d'eau usées domestiques non épurées directement dans le lit du cours d'eau, ou par transport du bassin versant vers le milieu par le phénomène de ruissellement. Des résultats similaires ont été obtenus par Nyamsi Tchatcho et al (2014) dans quelques stations référence des cours d'eau forestiers périurbains de la ville de Yaoundé, où le niveau de pollution s'échelonne de modéré à nul.

### III.2.3. Peuplement de macroinvertébrés benthiques

La richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques (87 familles) observée dans le cours d'eau Esoa est relativement plus élevée que celles obtenues par Tchakonté (2016) dans les cours d'eau des bassins versants du Tongo'a-Bassa (70 familles) et du Mgoua (57 familles) qui appartiennent à la même région écologique. Cette richesse taxonomique d'Esoa est aussi supérieure à celle obtenue dans 5 cours d'eau du bassin de la Mfoundi par Foto Menbohan *et al.* (2012) notamment l'Ekoza, l'Ewoué, le Mingo, le Ntsomo et le Tongolo, soit une richesse taxonomique cumulée de 29 familles. Ceci serait dû à un faible niveau d'anthropisation du bassin versant d'Esoa par rapport à ceux du Mfoundi du Tongo'a-Bassa et du Mgoua. Les caractéristiques physicochimiques et hydrologiques, la viabilité des microhabitats, l'effort d'échantillonnage entre autres peuvent aussi expliquer ces résultats. A ces propos, Zébazé *et al.* (2007) soulignent que l'effort d'échantillonnage permet d'enregistrer une forte richesse spécifique.

La classe des insectes est la plus diversifiée et la plus abondante, soit 79,99% d'abondance relative ; cette prédominance et la grande diversité des insectes traduiraient le caractère peu anthropisé du bassin versant et la bonne qualité des eaux du milieu. La faible similitude entre les richesses taxonomiques observées aux différentes stations serait due au caractère hétérogène des microhabitats de ce cours d'eau. En effet, d'après Charvet (1995), Tachet *et al.* (2010), MDDEFP (2013), la majorité des insectes aquatiques sont très sensibles à la pollution et/ou à la modification de l'habitat et sont de ce fait les premiers à disparaître dans un environnement perturbé.

L'abondance des Odonates (34,54% de l'abondance totale) serait liée à une forte végétation riveraine qui borde le cours d'eau, à l'effondrement d'une rive fragile qui contribue

à créer des zones mortes ou la vitesse d'écoulement est quasi nulle, mais aussi des ponts présents en aval de certaines stations qui réduisent considérablement la vitesse du courant et favorise leur installation. À cet effet, Tachet *et al.* (2010) affirment que les Odonates affectionnent les faibles courants et se développent préférentiellement dans l'herbier.

L'absence des Plécoptères aux stations Esoa2 et Esoa3 serait liée à l'augmentation du degré anthropisation observé dans le bassin versant. En effet, ces espèces sont très sensibles à la pollution, ce qui expliquerait leur disparition à ses stations. À ces propos, MDDEFP (2013) affirment que ces organismes sont polluosensible et affectionnent les milieux bien oxygénés. Ceci justifierait leur présence à la station Esoa 1 qui est relativement peu anthropisée avec un taux d'oxygénation très élevé (99,05%).

L'abondance des Diptères Chironomidés et des Mollusques (Physidae) à la station Esoa 2 serait due à l'accumulation des déchets ménagers dans le lit du cours d'eau qui réduisent la vitesse d'écoulement, favorisant leur biodégradation et l'enrichissement du milieu à l'origine du développement de ces organismes. Pour ce qui est de la forte abondance des Physidae à la station Esoa 3, elle serait due à la montée des eaux qui favorise le transport des déchets vers l'aval. Cela se justifie par le Pic de Chironomus (83) et des Physidae (301) récoltés au mois d'avril avec le retour effectif des pluies et par des valeurs élevées de l'oxydabilité obtenues à ces stations. À cet effet, Moisan et Pelletier (2008) soulignent que dans les hydrosystèmes pollués, la macrofaune benthique est largement dominée par les taxa saprophiles à l'instar des Chironomidae, des Physidae, et des Lymnaeidae.

Sur le plan spatial, la diminution de l'amont vers l'aval de la richesse spécifique des macroinvertébrés benthiques, soit (40 familles (Esoa 1), 38 familles (Esoa 2) et 27 familles (Esoa 3) s'expliquerait par la modification de leur habitat qui favorise la disparition des espèces polluosensible au profit de ceux polluorésistants. A ce propos, Moisan et Pelletier (2008) soulignent que la baisse de la diversité spécifique de la macrofaune benthique est liée à la réduction des microhabitats. Par contre, l'abondance des MIB présente une tendance inverse de l'amont vers aval ou les plus fortes abondances ont été relevée aux stations Esoa 2 (876 individus) et Esoa 3 (766 individus), cela pourrait être du faite aux conditions spécifiques à ses stations (habitats, physico-chimie...), mais aussi à cause de leurs positions en aval du cours d'eau. A ces propos Yémélé (2012) affirme que les stations en aval du cours d'eau présentent une plus grande richesse taxonomique que celles en amont.

A l'échelle temporelle, les plus grandes abondances ont été observé aux mois de mars (423 individus) et avril (412 individus) et correspondent à la période de reproduction des

Odonates qui trouveraient à ses stations des conditions favorables et supplanteraient la population. Des résultats similaires ont été observé par Sellami *et al.* (2015) en Tunisie ; mais aussi la forte abondance au mois de Juin (417 individus) qui correspond à la saison de pluies dans la zone de Nkongsamba. A ces propos Foto Menbohan *et al.* (2013) soulignent que les mois les plus pluvieux sont globalement en faveur d'une plus grande diversité de taxa de MIB du fait de la mise à disposition d'une diversité de microhabitats.

#### III.2.4. Indices biocénotiques

Les faibles valeurs de l'indice de diversité de Shannon et Weaver et de l'équitabilité J de Piélou à la station Esoa 3 s'expliqueraient par la forte abondance des familles de Coenagrionidae (*Coenagrion pro parte*) et de Physidae (*Physa* sp) qui représentent plus de la moitié des individus de cette station soit 447 individus, donc une abondance relative de 58,36%. Ces résultats corroborent ceux de Lévêque et Bailian (2005) qui stipulent que l'indice de diversité H' de Shannon et Weaver diminue lorsqu'un taxon a une abondance relative très élevée.

Les stations Esoa 1 et Esoa 2 présentent par contre les plus fortes diversités. Toutefois, elles sont faunistiquement dissemblables tel que le montre l'indice de similitude de Sørensen qui révèle plutôt une similarité assez élevée entre la macrofaune des stations Esoa 2 et Esoa 3 soit (68%). De même, cette diversité spécifique (H') remarquable observée dans les cours supérieur et moyen du cours d'eau Esoa serait liée à une relative intégrité de cet hydrosystème. En effet, Fisher *et al.* (1982) et Dajoz (1985) soulignent qu'un indice de diversité est d'autant plus élevé que les conditions du milieu favorisent l'installation et le maintien d'une communauté biologique équilibrée, intégrée et capable de s'adapter aux changements. Ces fortes valeurs témoigneraient de la répartition plus ou moins équitable des communautés de macroinvertébrés le long du cours d'eau. Malgré les variations d'abondances observées entre les stations, le test de Kruskal – Wallis réalisé entre les mois et les stations n'indique pas de différence significative au seuil de signification 0,05.

L'évolution de l'indice EPT en fonction des stations et des mois et la forte abondance relative des chironomidés traduiraient une anthropisation croissante de l'amont vers l'aval du cours d'eau, due à une utilisation du cours d'eau comme réceptacle de déchets ménagers, et diverses autres activités anthropiques pratiquées dans le bassin versant. La faible abondance des EPT est liée à la disparition des Plécoptères et des Trichoptères à fourreau en aval. Il est bien connu que les Plécoptères, les Trichoptères à fourreau et les Éphéméroptères sont les

groupes les plus sensibles aux polluants et ont besoin d'une eau bien oxygénée et présentant une assez bonne stabilité et une température assez modérée (MDDEFP., 2013).

L'Indice Biotique Global Normalisé (IBGN) montre sur le plan spatial, que la qualité de l'eau du milieu varie de très bonne (Esoa 1) à bonne (Esoa 2 et Esoa 3), cette baisse de qualité écologique du milieu aux stations aval se justifierait par l'utilisation anarchique du cours d'eau comme moyen d'évacuation des déchets ménagers, d'eaux usées et des fèces par les riverains soit directement dans le lit du cours d'eau, soit par ruissellement ce qui modifie la composition et la structure du milieu. Sur le plan temporel, la qualité écologique du milieu varie de moyenne (Janvier, Mars, Avril et Mai) à bonne (Février et Juin) montrent ainsi l'influence de la variation des saisons sur la qualité écologique du milieu et par conséquent sur la communauté des macroinvertébrés benthiques. Ces résultats de l'IBGN sont en inadéquation avec les conclusions issues de l'IPO (pollution nulle à forte, donc en moyenne modérée) et du rapport densité EPT/densité des Chironomidae qui montrent une augmentation du stress environnemental de l'amont vers l'aval et par conséquent une baisse de qualité des eaux. Des résultats similaires ont été obtenu par Biran à Ngon (2013) sur le cours d'eau Abouda affluent du Nga à Yaoundé.

Toutefois, les limites de la méthode des IBGN dans le contexte de nos milieu aquatique poussent à se tourné vers d'autres organismes plus représentatifs de l'état de santé écologique des cours d'eau à l'instar des taxons de la famille de Veliidae et de Gerridae abondamment récoltées dans ce milieu et qui affectionnent les eaux bien oxygénées ayant une charge en matières organiques relativement peu élevé et qui ont été identifiés par Bissé Ndiva (2021) comme des organismes polluo-tolérants, donc susceptibles de pallier aux limites de la méthode IBGN dans les cours d'eaux tropicales africains. Ceci est confirmé par la présence à la station Esoa 1 relativement très peu anthropisée et très oxygénée (99,05%) d'une forte colonie d'organismes appartenant à ses familles (Veliidae et Gerridae). Bien que ces organismes soient considérés par certains auteurs comme peu sensibles à la pollution, ce qui ne corrobore pas avec nos observations où les Hémiptères (Gerridae et Velidae) sont très abondant à la station Esoa 1, moins impactée par l'anthropisation. Ses observations nous conduisent à penser que ces organismes pourraient mieux traduit la qualité de nos eaux et mériteraient au même titre que les EPT, d'être considérés comme polluosensibles, donc bioindicateurs de l'état de santé des cours d'eau. Ces mêmes observations ont été rapportés par Biram à Ngon (2019) sur les Dictyoptères du bassin versant de la Méfou où ils constituent la voûte des bioindicateurs.

## **CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

## CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Long d'environ 6,5 km, le cours d'eau Esoa, affluent du Moungo situé en zone périurbaine de l'arrondissement de Nkongsamba, ruisselle dans un bassin versant montagneux de type forêt dense secondaire. Ce cours d'eau prend sa source au sommet d'une colline et est couvert par endroits par une canopée faite de grands arbres, d'arbustes et de bananiers avec un lit à substrats très hétérogène. L'hydrologie montre une vitesse d'écoulement et un débit relativement peu élevés caractérisé par une augmentation de la largeur du lit et de la section mouillée de l'amont vers l'aval.

Les analyses physico-chimiques témoignent d'une très bonne oxygénation (78,37%-99,05%), un pH légèrement acide à basique (6,73UC-9,25UC), condition favorable au bon développement des organismes aquatiques, donc de la macrofaune benthique. Des faibles valeurs des formes azotées et de la conductivité électrique, une température moyenne de  $23,25 \pm 1,83^{\circ}\text{C}$  et des valeurs élevées en orthophosphates. Les valeurs de l'IPO témoignent d'un niveau de pollution globalement modéré, montre ainsi le caractère relativement peu anthropisé du bassin versant et donc propice au développement d'un grand nombre de groupes biologiques.

La macrofaune benthique est composée de 2159 individus appartenant à 4 embranchements, 6 classes, 13 ordres et 56 familles. L'embranchement des Arthropodes avec 1753 individus soit (81,2% d'abondance relative), la classe des Insectes avec 1727 individus soit (79,99%), et enfin l'ordre des Odonates avec 746 individus soit (35% d'abondance relative) sont les plus abondantes de la macrofaune. Sur le plan spatial, on note une baisse graduelle de la richesse spécifique de l'amont vers aval et inversement de l'abondance spécifique. La diversité taxonomique couplée aux indices de diversité, d'équitabilité, de l'IPO et de l'IBGN montrent que le cours d'eau Esoa jouit d'une bonne intégrité de la communauté des MIB. De manière générale, les eaux du cours d'eau Esoa demeurent de bonne qualité écologique, ceci malgré une anthropisation croissante de ses stations aval.

Ainsi, face au boom démographique que connaissent bon nombre de villes camerounaises, la ville de Nkongsamba n'en demeure pas moindre avec une hausse des activités anthropiques caractérisés par l'utilisation des milieux aquatiques comme dépôts de déchets ménagers de toutes sortes, l'industrialisation et la mécanisation de l'agriculture, sans oublier les changements climatiques, les bassins versants des zones périurbaines tels que celui d'Esoa viendraient à être envahis et dégradés si des mesures drastiques et des politiques institutionnelles de protection de ces hydrosystèmes ne sont pas mises sur pied. Ainsi, nous recommandons :

Aux hydrobiologistes, de s'intéresser davantage aux cours d'eaux périurbains afin de documenter la biodiversité des MIB et de poursuivre les études sur l'étendue du territoire national pour établir un diagnostic global de santé écologique par les MIB, ainsi construire un indice multimétrique bien adapté à notre environnement.

Aux pouvoirs publics, de mettre sur pied des politiques en matière d'urbanisation selon une approche participative et soucieuse de l'intégrité et de la stabilité des milieux aquatiques naturels. De sensibiliser les populations sur la nécessité de préserver l'intégrité des milieux aquatiques.

Dans les travaux à venir, nous envisageons pour mieux comprendre les facteurs qui régissent la distribution des peuplements de macroinvertébrés benthiques, étendre nos échantillonnages sur toutes les saisons de l'année, prolonger les études aux autres bassins versants de ladite localité afin de faire une étude comparative. Il serait également intéressant de faire une étude sur l'écologie des Hétéroptères de la famille des Gérridae et des Véliidae afin d'établir leurs incidences sur l'évaluation de la qualité des eaux.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR., 2004.** Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). *Association Française de Normalisation*, AFNOR, Paris. NF T90-350, 15 p.
- AJEAGAH. G.A., BIKITBE J.T., et LONGO. F., 2013.** Qualité bioécologique d'un milieu lacustre hyper-eutrophisé en zone équatoriale (Afrique Centrale) : peuplement de protozoaire ciliés et macro invertébrés benthos-aquatiques. *Journal of Afrique science*, n°50-66.
- ALLAN J. D., 2004.** Landcape and rivers cape: the influence of land use on stream ecosystems. *Annals Review of Ecological System*, 35: 257-294 p.
- ANGELIER E., 2003.** Ecology of streams and rivers. *Science Publisher, Inc. Enfield* 211-213 p.
- APHA., 1998.** Standard methods for examination of water and wastewater, 20<sup>th</sup> edition, American Public Health Association, Waschington, D.C., 1150 p.
- AUBY L., MANAUD F., MAURER D., et TRUT G., 1994.** Etude de la prolifération des algues vertes dans le bassin d'Arcachon. IFREMER-CEMAGREF-SSA\_SABARC, 192 p.
- BARBOUR M. T., GERRITSEN J., SNYDER B. D., et STRIBLING J. B., 1999.** Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2<sup>nd</sup> edition, *U.S. Environmental Protection Agency*, office of water, Washington, Distric Columbia, 11: 233-235.
- BENOIT-CHABOT., 2014.** Les facteurs de sélection des bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques: Élaboration d'un outil d'aide à la decision. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement et développement durable. 88 p.
- BERRYMAN D., ST-ONGE J., GEBDON A., et BROCHU. C., 2003.** L'impact d'anciens parcs à résidus miniers sur la qualité de l'eau et les communautés benthiques de la rivière Massawippi et les ruisseaux Eustis et Capel, Québec, ministère de l'environnement, *Direction du suivi de l'état de l'environnement*, envirdoq n° EVN/2003/0043, 47 p.
- BIRAM A NGON E.B., 2014.** *Structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Abouda, affluent du Nga à Yaoundé.* Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 62 p.
- BIRAM A NGON E.B., 2019.** *Étude bioécologique des dictyoptères semi aquatiques dans le bassin versant de la Méfou.* Thèse de Doctorat/ Ph.D en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, 167 p.

- BISSE NDIWA T.I., 2021.** *Biodiversité des macroinvertébrés benthiques et qualité des eaux du cours d'eau Wamie dans la région du Sud Cameroun.* Mémoire de master en biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, 59 p.
- BONNARD R., M. LAFONT., LE PIMPEC., 2003.** Notions d'hydro-écologie et de qualité biologique des eaux courantes. Ingénieries eau-agriculture-territoires, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, hal-00465512, 3-12 p.
- BOUZIDI M., YUCEF, A., ILHEM, A., LATRÈCHRE, A., BENYAHIA, M., BOUGUENAYA, N. et MELIANI, H., 2010.** Copépodes, Cladocères et Rotifères du lac Sidi Mohamed Benali (Algérie Nord-Occidentale). *Géographie Physique et Environnement*, 4 : 69-85.
- CADRE DE VIE., 2022.** La vie à la commune d'Arrondissement de Nkongsamba 1<sup>er</sup>. Publié (le 15 janvier 2022). [Www.nkogsamba1.com](http://www.nkogsamba1.com) (consulté le 20 janvier 2022).
- CAIRNS J., 1978.** Zooperiphyton (especially Protozoa) as indicators of water quality. *Trans Amer Microscop Soc*, 97 : 43-49.
- CAMACHO A.I., 1992.** The natural history of biospeleology. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Monografias, Vol. 7, 680 p.
- CARTER J. L., et RESH. V. H., 2001.** After site selection and before data analysis : sampling, sorting and laboratory procedures used in stream benthic macroinvertebrates monitoring programs by USA agencies. *Journal of North America Benthology Society*. 20, (4): 658-682 p.
- CCME., 2011.** Manuel des protocoles d'échantillonnage pour analyse de la qualité de l'eau au Canada. In CCME, Publications-Eau, 22 p.  
[http://www.ccme.ca/assets/pdf/protocols\\_document\\_f\\_final\\_1.0.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/protocols_document_f_final_1.0.pdf)
- CEAEQ., 2007.** Détermination des Orthophosphates dans l'eau : méthode calorimétrique automatisée à l'acide ascorbique. Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec, MA. 3030-P1.0, Revue, 3, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 12 p.
- CHAPMAN D.K.V., 1996.** Selection of water quality variables. Water quality assessment. A guide to use of biota, sediment and water in environment monitoring, chapman edition, 2<sup>nd</sup> ed. E&FNSpon, London 59-126p.
- CHARVET., 1995.** *Les méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux basées sur les macroinvertébrés benthiques.* Mémoire DEA, Université de Claude Bernard -Lyon 1 France, 39 p.
- CHUZEVILLE B., 1990.** *Hydrobiologie tropicale et appliquée en Afrique subsaharienne.* Collection Maîtrise de l'eau. Ministère français de la coopération et du développement. Paris Agridoc, 275 p.

- CRANSTON. P.S., P. FAIRWATER et CLARKE. G., 1996.** Biological indicators of water quality. In : *Indicators of catchment health : a technical perspective* J. Walker & D. J. Reuter (eds.), CSIRO. Melbourne, 3 : 143-154.
- DAJOZ R., 2000.** Précis d'écologie. 7<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France, 615 p.
- DAY, JA. et IJ DE MOOR (eds), 2002b.** Guides des invertébrés d'eau douce d'Afrique australe : Volume 6 Arachnida et Mollusca – Araneae, Water Mites and Mollusca. Rapport CMR n° TT 182/02. Commission de recherche sur l'eau, Pretoria, 24 p.
- DE MOOR I.J. DAY JA et FC DE MOOR (éds), 2003b.** Guides des invertébrés d'eau douce d'Afrique australe : Volume 8 Insecta II – Hémiptères, Mégaloptères Neuroptères, Trichoptères et Lépidoptères. Rapport CMR n°TT 214/03. Commission de recherche sur l'eau Pretoria. 145 p.
- DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O. et BELGHITY D., 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss Journal*, 1112-3680, (08) : 101-112.
- DEVIDAL S., RICHARD-SIROIS C., POUET M-F., et THOMAS. O., 2007.** Solutions curatives pour la restauration des lacs présentant des signes d'eutrophisation, rapport interne, Observatoire de l'environnement et du développement durable, Université de Sherbrooke, Québec : 51 p.
- DGRNE., 2005.** Etat des lieux des sous bassins hydrographiques. Tome III : méthodologie. Ministère de la région de Wallonne. Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, observatoire des eaux de surface, 101 p.
- DOKULIL M., (2003).** Algae as ecological bioindicators. In : *Bioindicators & biomonitoring : principle, concepts and applications*. Ed. by B. A. Makert, A. M. Breure, & H. G. Zechmeister. Amsterdam ; Boston : Elsevier, 7 : 285-326.
- DOMCHE B., 2012.** *Diagnostic de l'état de santé du cours d'eau Kondi (Douala) : étude des peuplements zooplanctoniques et des macroinvertébrés benthiques*. Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 47 p.
- DURAND J. R. et LEVEQUE C., 1991.** Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo soudanienne. Tome II. Edition de l'ORSTOM, Paris 517 p.
- DZAVI J., 2014.** *Etude de la communauté des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Konglo, affluent du Nyong à Mbalmayo*. Mémoire de Master Université de Yaoundé I, 54p.
- FAILLAT J.P., 1990.** Origine des nitrates dans les nappes de fissure de la zone tropicale humide-Exemple de la côte d'Ivoire. *Journal d'Hydrobiologie* 113 (1): 231-264.

- FENNESY S., IBAÑEZ C., MUNNÉ A., CAIOLA N., KIECHNER N. et SOLA C., 2015.** Biological indices based on Macrophytes : An Overview of Methods used in Catalonia and the USA to Determine the Status of Rivers and Wetlands. In : The Handbook of Environmental Chemistry Berlin : Springer, 6 : 1-19.
- FERNANDES J.D.F., DE SOUZA A.T.L. et TANAKA M.O., 2014.** Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality ? A tropical case study. *Hydrobiologia*, 724 : 175-185.
- FISHER S. G., GRAY L. J., GRIMM N. B. et BUSCH D. E., 1982.** Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding, *Ecological Monograph*, 52: 93-110.
- FOTO MENBOHAN S. et NJINÉ T., 1991.** Influence de la pollution organique sur la diversité des peuplements de ciliés de deux cours d'eau urbains au Cameroun. *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, Série Sciences Naturelles et Vie*, 7 : 281-294.
- FOTO M. S., ZEBAZE TOGOUET S. H., NYAMSI TCHATCHO N. L. et NJINE T., 2010.** Macroinvertébrés du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 43 No. 1 : 96-106.
- FOTO MENBOHAN S., 2012.** Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : Essai de biotypologie. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, 220 p.
- FOTO MENBOHAN S., TCHAKONTE S., AJEAGAH GIDEON A., ZEBAZE TOGOUET S. H., BILONG C. F., et NJINE T., 2013.** Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2: 91-104.
- FRIEDRICH G., CHAPMAN D. et BEIM A., 2001.** The use of biological material. In D. Chapman, water quality assessment: a guide to the use of biota, sediment and water in environmental monitoring, edition Chapman & Hall, 3: 171-238.
- GILLER S. et MALMQVIST B., 1999.** The biology of rivers and streams. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom: 296 p.
- GWP et PNUD., 2007.** Plan d'action national de gestion intégrée des ressources en eau (PANGIRE). La lutte contre les changements climatiques: Etat des lieux du secteur Eau et environnement, 128 p.
- HEBERT S. et LEGARE S., 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec*, 5 p.
- HECKY R. E., 2000.** A biogeochemical comparison of lakes Superior in Malawi, and the limnological consequences of an endless summer. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3: 23-33.

- HEIDEMANN H., et SEIDENBUSCH R., 2002.** Larves et exuvies des libellules de France et d'Allemagne (sauf de corse), Société Française d'odontologie, 416 p.
- HELLAWELL J. M., 1986.** Biological indication of freshwater pollution and environmental management. *Elsevier London*: 546 p.
- HUTCHINSON G. E., 1967.** A treatise on limnology. *Introduction to lake biology and limnoplankton*. 2: 60-90.
- ILLIES J. et BOTASANEANU L., 1963.** « Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des courants considérées du point de vue faunistique ». *Mitter International Verein Limnology*, (12): 1-57.
- JULLIAN E., HIRBE A., KER B.N., et LIU R.Z., 2005.** "Qualité de l'eau du bassin versant de l'Ardèche." Université de Paris 7 - Denis – Diderot, UFR des Sciences Physiques de la Terre (IUP Génie de l'Environnement), 149 p.
- JUMIA, FOOD., 2015.** Nkongsamba, une ville pleine d'histoires. Publié (le 09 août 2015) <http://www.food.jumia.ma> (consulté le 20 Janvier 2022).
- JUSTIN EBANDA., 2011.** *Création picturale inspirée de l'histoire d'une ville camerounaise : cas de Nkongsamba*. Mémoire présenté en vue d'obtention du Diplôme en Art Plastique (D.E.A.P), Institut des Beaux-Arts Université de Douala, 88 p.
- LEBON V., 1997.** *Relation entre les populations planctoniques et la physico-chimie des eaux de la Scarpe et de la petite sensée dans la région de Douai (Nord)*. Mémoire de maîtrise, Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France, 66 p.
- LECLERCQ L., 2001.** Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, Document de travail, 44 p.
- LÉVÊQUE C. et BAILIAN E.V., 2005.** Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream, *Hydrobiologia*, 542: 25-26.
- LEYNAUD G., et VERREL J. L., 1980.** Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions : La pollution des eaux continentales. Influence sur les biocénoses aquatiques. Edition Gautier-Villar, Paris, 3: 1-28.
- LIECHTI P., FRUTIGER A., et ZOBRIST J., 2004.** Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau de Suisse. Module chimie, analyses physico-chimiques niveaux R & C. OFEFP Berne, 4 :11-12.
- MACNEIL C. N., DICK J. T., BIGSBY A., ELWOOD R. W., MONGOMERY W. I., GIBBIN C. N., et KELLY D.W., 2002.** The validity of the Gammarus Assellus, ratio as an index of organic pollution: abiotic and biotic influences. *Water Research*, 36 (1): 75-84.

- MAKERT B.A., BREURE A.M., et ZECHMEISTER, H.G., 2003.** Bioindicators and biomonitoring. Principles, concept and application. Oxford, UK: Elsevier, 1014 p.
- MALAVOI J.R., et SOUCHON Y., 2002.** Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute Savoie). *Revue Géographie de Lyon*, 64: 252-259.
- MBEGA J.D., 2004.** *Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué (Gabon)*. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur (Belgique), 514.
- MDDEFP., 2013.** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, *Direction du suivi de l'état de l'environnement*, 2e édition, 88 p.
- MEDD et AE, 2013.** Limite de classe de "bon état" des eaux. Grille QEQ-Eau, 10 p.
- MOISAN J., et PELLETIER L., 2008.** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction de suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 168 p.
- MOISAN J., et PELLETIER L., 2011.** Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011, direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du développement durable, de l'environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF), 39 p.
- NDOURWE F. B., 2021.** *Caractérisation par les macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau de la Région du Littoral : NDOG-BISSOLO*. Mémoire de master université de Yaoundé I, 69p.
- NEWBURY R. W., et GABOURY M.N., 1993.** Stream analysis and fish habitat design. A field manual. Newbury Hydraulics, Gibson, Colombie-Britannique, 256 p.
- NGAMBI J., 2015.** Déchets solides ménagers de la ville de Yaoundé (Cameroun) : de la gestion linéaire vers une économie circulaire. *Journal Of Sciences*, 3: 12-23.
- NOËL G., 2012.** *Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (côte d'ivoire)*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 126 p.
- NYAMSI TCHATCHO N.L., FOTO MENBOHAN S., ZEBAZE TOGOUET S.H., ONANA FILS M., ADANDEDJAN D., TCHAKONTE S., YEMELE TSAGO C., KOJI E. & NJINE T. (2014).** Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) pour l'évaluation biologique de la qualité des eaux des cours d'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123 : 412-430.
- NYAMSI TCHATCHO N.L., 2018.** *Macroinvertébrés benthiques du réseau hydrographique de la Méfou : habitat, diversité et dynamique des peuplements, évaluation de l'intégrité biologique des*

- cours d'eau*. Thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, 159 p.
- ONANA F. M., 2015.** *Typologie et qualité biologiques des cours d'eau du Réseau hydrographique du Wouri basées sur les assemblages de zooplancton et de macroinvertébrés benthiques*. Thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, 156 p.
- ONU., 2018.** La protection de l'eau douce montre des signes de progrès. ONU programme pour l'environnement 50 ans (1972-2022), 8p.
- OFEFP., 2005.** Information concernant la protection des eaux : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos Niveau R (région). L'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage. Berne, 50 p.
- PECK, D. V., LAZORCHAK J.M., et KLEMM D.J., 2001.** Environmental Monitoring and Assessment Program – Surface Waters : Western Pilot Study Field Operations Manual for Wadeable Streams, Unpublished draft, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C et 1ann, 242 p.
- PIÉLOU E. C., 1966.** The measurement of diversity in different type of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- PHILLIPPEAU G., 1992.** Comment interpréter les résultats d'une Analyse en Composantes Principales. *Services des Etudes Statistiques-ITCF*, 63 p.
- QIU Z., 2013.** Comparative Assessment of Stormwater and Nonpoint Source Pollution Best Management Practices in Suburban Watershed Management. *Water*, 5 : 280-291.
- RAMANDE F., 2005.** *Eléments d'écologie : Ecologie appliquée*. 4<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris, France, 864 p.
- RESH V. R., NORRIS R. H., et BARBOUR M. T., 1995.** Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates, *Australian journal of Ecology*, 20: 108-12.
- RODIER J., LEGUBE B., et MERLET N., 2009.** L'Analyse de l'Eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, 1526 p.
- ROTHROCK J., BARTEN P. K., et INGMAN G. L., 1998.** Land use aquatic biointegrity in the Blackfoot river watershed Montana. *Journal of American Water Resources Association*, 34 (3): 565-581.
- SEGALEN P., 1958.** Les sols du Cameroun. In: Atlas du Cameroun. I.R.Cam., Nkongsamba, 28 p.

- SELLAMI E. L., FRANÇOIS M., NAÏMA B., MOHAMED S. R., 2015.** Odonates dans les principaux cours d'eau du parc national de l'ichkeul (Tunisie). *Faunistic Entomology*, ISSN: 2030-6318, E-ISSN: 2295-7235.
- SEQ-EAU (MEDD., 2010).** Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. *Grille d'évaluation SEQ-EAU version 2*, 40 p.
- SHANNON C. E., et WEAVER., 1963.** The mathematical théorie of communication. Urbane: University of Illinois Press, 117 p.
- SHORTER A., 2001.** La capacité auto-épuratrice des cours d'eau : Application des connaissances scientifiques à leur gestion. Synthèse technique. *Environmental Science and Pollution Research International*, 10 (2) : 126-139.
- SÖRENSEN T. A. 1948.** A methods of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, Det kgh. *Limnology Oceanography*, 5 : 1-34.
- STALS R. et DE MOOR IJ. 2007.** Guides to the freshwater invertebrates of southern Africa, volume 10 : Coléoptères water Research commission report, n° TT 320/07. *Prétoria-south Africa*, 10 : 26-57.
- STARK J.D., BOOTHROYD K.G., HARDING J.S., MAXTED J.R. et SCARSBROOK M.R., 2001.** Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams. New Zealand Macroinvertebrates working group, report no.1, Ministry for the Environment and Sustainable Management, fund project no. 5103, 57 p.
- STEVENSON RJ., YANGDONG P., et VAN DAM H. 2010.** Assessing environmental conditions in rivers and stream with diatoms in: *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Edited by J. P. Smol and E. F. Stoermer. 2<sup>nd</sup> edition Cambridge University Press, 2: 55-85.
- SUCHEL J.B., 1972.** *Le climat du Cameroun*. Thèse de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bordeaux III, 1863 p.
- TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M. et USSEGLIO-POLATERA P., 2010.** Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, France, 588 p.
- TCHAKONTE S., AJEAGAH G.A., CAMARA A.I., DIOMANDE D., NYAMSI TCHATCHO N.L., et NGASSAM P., 2015.** Impact of urbanization on aquatic insect assemblages in the coastal zone of Cameroon: the use of biotraits and indicator taxa to assess environmental pollution. *The International Journal of Aquatic Sciences*, 755 : 123-144.
- TCHAKONTE S., 2016.** *Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun)*. Thèse de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, 179 p.

- TCHOUAPI Y.L., 2016.** *Distribution des macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau forestier à Mbalmayo : le Mbeme.* Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 42 p.
- TCHOUTA U. G., 2018.** *Qualité des eaux du cours d'eau forestier de la région du Littoral, en relation avec la présence/ absence des macroinvertébrés benthiques : le Non.* Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 49 p.
- TEMGOUA E., BITOM B., DJEUDA T. H. B. et YONGUE R., 2003.** Habitation, agricultural practices and degradation of the soil in urban area: The case of Ngoa-Ekélé and Oyomabang district of Yaoundé Cameroon. Research report, University of Yaoundé I, 90 p.
- TUEKAM Kayo., 2007.** *Stygofaune de deux bassins versants souterrains contigus de la région de Yaoundé : influence de la pression Anthropique.* Mémoire DEA de biologie Animal. Université de Yaoundé I, 69 p.
- UICN., 2021.** Conserver l'eau douce pour préserver la vie. *Congrès mondiale de l'eau de Marseille* (3-11 septembre 2021).
- UN/ECE., 1995.** Biological Assessment methods for water courses. Volume 3, convention on the protection and use of transboundary water courses and international lakes, Helsinki, 12 p.
- U.S. EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 2002.** Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs, EPA 822-F-02-006, 404 p.
- VANNOTE R. L., MARSHALL G. W., CUMMINS K. W., SEDELL J. R. et CUSHING C.E., 1980.** The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, (37):130-137.
- VERNEAUX J., 1973.** *Cours d'eau de la Franche-Comté (massif du Jura) : recherche écologique sur le réseau hydrographique du Doubs.* Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Docteurs ès Sciences Naturelles, 257 p.
- WANG B., LIU D., LIU S., ZHANG Y., LU D. et WANG L., 2012.** Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China. *Hydrobiologia*, 680 : 39-51.
- WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (WFD), 2003.** Overall Approach to the classification of Ecological Status and Ecological Potential, Water Framework Directive Common Implementation, Strategy Working Group 2, A Ecological Status (ECOSTAT), and 2 appendices 28 p.
- WEATHER SPARK., 2016.** Climate and Average weather Year Round in Nkongsamba Cameroun, 8p. <http://www.fr.weatherspark.com> (consulté le 20 janvier 2022).

- WOODCOCK T. S. et HURYN A. D., 2007.** The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, 52 : 177-196.
- YEMELE T., 2012.** *Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Fam : un affluent du Nga*. Mémoire de Master, Université de Yaoundé I. Faculté des Sciences. 62 p.
- ZÉBAZÉ TOGOUET S. H., NJINE T., KEMBA N., FOTO MENBOHAN S., NIYITEGEKA D., NOLA M., BILONG BILONG C. F., et BOUTINC., 2007.** Spatio-temporal distribution of crustacean zooplankton (cladocera) in a shallow hypereutrophic lake of Africa. *Soc. Hist., Toulouse*, 143 :49-58.

# ANNEXES

**Annexe 1 : Tableau récapitulatif des para mètres physicochimiques des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude**

|       | Mois    | Paramètres statistiques | pH (uc) | Tem (°C) | O <sub>2</sub> (mg/l) | CO <sub>2</sub> (mg/L) | Turb (NTU) | Cond (µS/cm) | Alca (mg/L) | MES (mg/L) | TDS (mg/L) | Oxy (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | NH <sub>4</sub> (mg/L) | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L) | Cou (Pt-Co) |
|-------|---------|-------------------------|---------|----------|-----------------------|------------------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Esoa1 | Janvier |                         | 7,44    | 21,7     | 98,23                 | 38,72                  | 0          | 80           | 18          | 39         | 0,04       | 18,76      | 0,24                   | 0                      | 0,09                   | 0,36                                 | 30          |
|       | Février |                         | 7,1     | 22,2     | 98,16                 | 15,84                  | 0          | 60           | 30          | 7          | 0,03       | 15,2       | 0,25                   | 0                      | 0,04                   | 0,04                                 | 121         |
|       | Mars    |                         | 6,95    | 24       | 99,05                 | 19,36                  | 4          | 70           | 24          | 9          | 0,03       | 20,14      | 19,6                   | 0,02                   | 0,2                    | 0,62                                 | 148         |
|       | Avril   |                         | 8,6     | 22,9     | 95,95                 | 31,68                  | 4          | 70           | 10          | 19         | 0,03       | 17,97      | 0,33                   | 0,02                   | 0,04                   | 0,26                                 | 109         |
|       | Mai     |                         | 9,25    | 21,6     | 95,5                  | 22,88                  | 0          | 70           | 10          | 5          | 0,03       | 2,96       | 2,3                    | 0                      | 0,13                   | 0,44                                 | 183         |
|       | Juin    |                         | 7,79    | 21,5     | 88,96                 | 21,12                  | 7          | 60           | 10          | 7          | 0,03       | 3,55       | 8,6                    | 0                      | 0                      | 2,86                                 | 153         |
|       |         | Maximum                 | 9,25    | 22,9     | 99,05                 | 38,72                  | 7          | 80           | 30          | 39         | 0,04       | 20,14      | 19,6                   | 0,02                   | 0,13                   | 2,86                                 | 183         |
|       |         | Minimum                 | 6,95    | 21,5     | 88,96                 | 15,84                  | 0          | 60           | 10          | 5          | 0,03       | 2,96       | 0,24                   | 0                      | 0                      | 0,04                                 | 30          |
|       |         | Moyenne                 | 7,86    | 22,3     | 95,98                 | 24,93                  | 2,5        | 68,33        | 17          | 14,33      | 0,03       | 13,01      | 5,22                   | 0,01                   | 0,083                  | 0,76                                 | 124         |
|       |         | Écart type              | 0,9     | 0,97     | 3,71                  | 8,58                   | 2,95       | 7,53         | 8,56        | 13,06      | 0,004      | 7,79       | 7,74                   | 0,01                   | 0,07                   | 1,05                                 | 52,9        |
| Esoa2 | Janvier |                         | 7,33    | 20,7     | 97,08                 | 36,96                  | 0          | 60           | 22          | 0          | 0,03       | 19,75      | 0,14                   | 0                      | 0,07                   | 0,43                                 | 36          |
|       | Février |                         | 7,24    | 23,2     | 97,46                 | 5,28                   | 5          | 90           | 34          | 6          | 0,04       | 11,65      | 0,16                   | 0,01                   | 0,06                   | 0,35                                 | 30          |
|       | Mars    |                         | 6,73    | 28,8     | 96,83                 | 14,08                  | 1          | 90           | 36          | 7          | 0,05       | 19,94      | 18,7                   | 0,02                   | 0,07                   | 0,57                                 | 62          |
|       | Avril   |                         | 8,1     | 24,5     | 94,75                 | 28,16                  | 3          | 90           | 10          | 12         | 0,05       | 20,73      | 0,59                   | 0,03                   | 0,08                   | 0,47                                 | 143         |
|       | Mai     |                         | 9,18    | 22,8     | 95,03                 | 26,4                   | 1          | 100          | 10          | 3          | 0,05       | 17,18      | 1,4                    | 0,02                   | 0,06                   | 0,52                                 | 81          |
|       | Juin    |                         | 7,85    | 22,3     | 78,37                 | 28,16                  | 13         | 80           | 12          | 27         | 0,04       | 9,28       | 8,06                   | 0,04                   | 0,23                   | 5,2                                  | 201         |
|       |         | Maximum                 | 9,18    | 20,7     | 97,46                 | 36,96                  | 13         | 100          | 36          | 27         | 0,05       | 20,73      | 18,7                   | 0,04                   | 0,23                   | 5,2                                  | 201         |
|       |         | Minimum                 | 6,73    | 28,8     | 78,37                 | 5,28                   | 0          | 60           | 10          | 0          | 0,03       | 9,28       | 0,14                   | 0                      | 0,06                   | 0,35                                 | 30          |
|       |         | Moyenne                 | 7,74    | 23,72    | 93,25                 | 23,17                  | 3,83       | 85           | 20,67       | 9,17       | 0,04       | 16,42      | 4,84                   | 0,02                   | 0,1                    | 1,26                                 | 92,17       |
|       |         | Écart type              | 0,85    | 2,78     | 7,38                  | 11,43                  | 4,83       | 13,78        | 11,98       | 9,62       | 0,008      | 4,82       | 7,43                   | 0,014                  | 0,07                   | 1,93                                 | 67,06       |
| Esoa3 | Janvier |                         | 7,78    | 22,7     | 96,82                 | 33,44                  | 0          | 90           | 24          | 8          | 0,04       | 17,57      | 0,14                   | 0                      | 0                      | 0,2                                  | 37          |
|       | Février |                         | 7,28    | 23,5     | 97,9                  | 8,8                    | 2          | 90           | 40          | 20         | 0,05       | 8,88       | 0,26                   | 0                      | 0,06                   | 0,17                                 | 226         |
|       | Mars    |                         | 6,98    | 25,7     | 97,95                 | 15,88                  | 2          | 100          | 48          | 4          | 0,05       | 19,94      | 11                     | 0,02                   | 0,2                    | 0,68                                 | 160         |
|       | Avril   |                         | 8,4     | 24,1     | 92,33                 | 21,12                  | 7          | 0            | 10          | 7          | 0          | 19,55      | 0,49                   | 0,03                   | 0,61                   | 0,61                                 | 107         |
|       | Mai     |                         | 9,2     | 23,7     | 96,46                 | 31,68                  | 3          | 60           | 10          | 6          | 0,03       | 17,38      | 3,4                    | 0,01                   | 0,16                   | 0,46                                 | 64          |
|       | Juin    |                         | 7,85    | 22,7     | 88,11                 | 21,12                  | 21         | 90           | 14          | 23         | 0,04       | 5,14       | 6,62                   | 0,07                   | 0,12                   | 1,53                                 | 320         |
|       |         | Maximum                 | 9,2     | 24,1     | 97,95                 | 33,44                  | 21         | 100          | 48          | 23         | 0,05       | 19,94      | 11                     | 0,07                   | 0,61                   | 1,53                                 | 320         |
|       |         | Minimum                 | 6,98    | 22,7     | 88,11                 | 8,8                    | 0          | 0            | 10          | 4          | 0          | 5,14       | 0,14                   | 0                      | 0                      | 0,17                                 | 37          |
|       |         | Moyenne                 | 7,92    | 23,73    | 94,93                 | 22,01                  | 5,83       | 71,67        | 24,33       | 11,33      | 0,04       | 14,74      | 3,65                   | 0,02                   | 0,2                    | 0,61                                 | 152,33      |
|       |         | Écart type              | 0,8     | 1,11     | 3,93                  | 9,36                   | 7,78       | 36,64        | 16,27       | 8,04       | 0,02       | 6,19       | 4,4                    | 0,03                   | 0,22                   | 0,5                                  | 106,54      |

**Légende :** Tem=Température ; Ph=potentiel d'Hydrogène ; O<sub>2</sub>=Oxygène dissous ; CO<sub>2</sub>=gaz carbonique ; turb=turbidité ; cond=conductivité électrique ; MES=matière en suspension ; TDS=solide totaux dissous ; Oxyd=Oxydabilité ; NO<sub>2</sub>=nitrites ; NO<sub>3</sub>=nitrates ; PO<sub>4</sub>=Orthophosphates ; NH<sub>4</sub>=azote ammoniacal ; Alca=Alcalinité ; Cou=couleur.

**Annexe 2 :** Variation spatio-temporelle de l'IPO dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

| Stations | Mois    | Classes des paramètres |                         |              | Moyenne des classes | Niveau de pollution |
|----------|---------|------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|---------------------|
|          |         | NH4+ (mg/L)            | NO2 <sup>-</sup> (ug/L) | PO43- (µg/L) |                     |                     |
| Esoa1    | Janvier | 5                      | 5                       | 2            | 4                   | Faible              |
|          | Février | 5                      | 5                       | 4            | 4,7                 | Nulle               |
|          | Mars    | 4                      | 3                       | 2            | 3                   | Modérée             |
|          | Avril   | 5                      | 3                       | 2            | 3,3                 | Modérée             |
|          | Mai     | 4                      | 5                       | 2            | 3,7                 | Modérée             |
|          | Juin    | 5                      | 5                       | 1            | 3,7                 | Modérée             |
| Esoa2    | Janvier | 5                      | 5                       | 2            | 4                   | Faible              |
|          | Février | 5                      | 4                       | 2            | 3,7                 | Modérée             |
|          | Mars    | 5                      | 3                       | 2            | 3,3                 | Modérée             |
|          | Avril   | 5                      | 3                       | 2            | 3,3                 | Modérée             |
|          | Mai     | 5                      | 3                       | 2            | 3,3                 | Modérée             |
|          | Juin    | 4                      | 3                       | 1            | 2,7                 | Forte               |
| Esoa3    | Janvier | 5                      | 5                       | 3            | 4,3                 | Faible              |
|          | Février | 5                      | 5                       | 3            | 4,3                 | Faible              |
|          | Mars    | 4                      | 3                       | 2            | 3                   | Modérée             |
|          | Avril   | 4                      | 3                       | 2            | 3                   | Modérée             |
|          | Mai     | 4                      | 4                       | 2            | 3,3                 | Modérée             |
|          | Juin    | 4                      | 2                       | 1            | 2,3                 | Forte               |

**Annexe 3 :** Tableau de la communauté des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

| Embranchements | Classes      | Ordres          | Familles          | Espèces                          | ESOA <sub>1</sub> | ESOA <sub>2</sub> | ESOA <sub>3</sub> | Totaux |
|----------------|--------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Mollusques     | Gastéropodes | Basommatophores | Planorbidae       | <i>Gyraulus</i> sp               | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 |                   | <i>Planorbis</i> sp              | 0                 | 1                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Lymnaeidae        | <i>Radix</i> sp                  | 0                 | 2                 | 1                 | 3      |
|                |              |                 | Physidae          | <i>Physa</i> sp                  | 0                 | 6                 | 301               | 307    |
| Athropodes     | Crustacés    | Decapodes       | Potamidae         | <i>Potamon</i> sp                | 8                 | 11                | 7                 | 26     |
|                |              |                 |                   | <i>Gerris</i> sp                 | 38                | 1                 | 0                 | 39     |
|                |              | Hemipterères    | Gerridae          | <i>Eurymitra</i> sp              | 2                 | 0                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 |                   | <i>Rhagadotarsus</i> sp          | 13                | 0                 | 0                 | 13     |
|                |              |                 |                   | <i>Gerrisella settembrinoi</i>   | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 |                   | <i>Tenagononius albobittatus</i> | 3                 | 1                 | 0                 | 4      |
|                |              |                 |                   | <i>Naboandelus</i> sp            | 31                | 0                 | 0                 | 31     |
|                |              |                 |                   | <i>Hynesionella omer-cooperi</i> | 8                 | 3                 | 0                 | 11     |
|                |              |                 |                   | <i>Limnogonus</i> sp             | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 |                   | <i>Abedus herberti</i>           | 3                 | 0                 | 1                 | 4      |
|                |              |                 | Belostomidae      | <i>Possonia</i> sp               | 43                | 28                | 13                | 84     |
|                |              |                 |                   | <i>Velia</i> sp                  | 24                | 11                | 1                 | 36     |
|                |              |                 | Veliidae          | <i>Mesovelis</i> sp              | 5                 | 0                 | 0                 | 5      |
|                |              |                 |                   | <i>Microvelis</i> sp             | 1                 | 1                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 | Naucoridae        | <i>Naucoris</i> sp               | 39                | 49                | 22                | 110    |
|                |              |                 | Notonectidae      | <i>Notonecta</i> sp              | 13                | 1                 | 3                 | 17     |
|                |              |                 | Nepidae           | <i>Nepa</i> sp                   | 0                 | 1                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Pleidae           | <i>Pléa leachi</i>               | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              | Odonates        | Coenagrionidae    | <i>Coenagrion pro parte</i>      | 47                | 261               | 146               | 454    |
|                |              |                 | Lestidae          | <i>Sympecma</i> sp               | 2                 | 0                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 | Calopterygidae    | <i>Calopteryx</i> sp             | 34                | 22                | 4                 | 60     |
|                |              |                 | Corduliidae       | <i>Somatochlora pro parte</i>    | 0                 | 2                 | 26                | 28     |
|                |              |                 |                   | <i>Oxygastra curtisii</i>        | 0                 | 0                 | 4                 | 4      |
|                |              |                 | Macromiidae       | <i>Macromia splendens</i>        | 2                 | 0                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 | Libellulidae      | <i>Libellula</i> sp              | 1                 | 1                 | 3                 | 5      |
|                |              |                 |                   | <i>Orthetrum</i> sp              | 4                 | 32                | 56                | 92     |
|                |              |                 |                   | <i>Brachythemis leucosticta</i>  | 2                 | 11                | 1                 | 14     |
|                |              |                 |                   | <i>Sympetrum fonscolombii</i>    | 0                 | 5                 | 0                 | 5      |
|                |              |                 | Gomphidae         | <i>Gomphus</i> sp                | 44                | 11                | 5                 | 60     |
|                |              |                 |                   | <i>Paragomphus</i> sp            | 2                 | 12                | 1                 | 15     |
|                |              |                 | Cordulegasteridae | <i>Cordulegaster</i> sp          | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Aeshnidae         | <i>Aeshna</i> sp                 | 2                 | 0                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 |                   | <i>Brachytron protense</i>       | 1                 | 1                 | 0                 | 2      |
|                |              | Plécoptères     | Perlidae          | <i>Dinocras</i> sp               | 4                 | 0                 | 0                 | 4      |
|                |              | Trichoptères    | Philopotamidae    | <i>Chimara</i> sp                | 1                 | 1                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 |                   | <i>Philopotamus</i> sp           | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Glossosomatidae   | <i>Catagapetus</i> sp            | 0                 | 1                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 |                   | <i>Glossosoma</i> sp             | 1                 | 1                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 | Polycentropodidae | <i>Neureclipsis</i> sp           | 0                 | 3                 | 0                 | 3      |
|                |              |                 | Ecnomidae         | <i>Ecnomus</i> sp                | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Hydropsychidae    | <i>Hydropsyche</i> sp            | 1                 | 1                 | 2                 | 4      |
|                |              |                 |                   | <i>Diplectrona felix</i>         | 1                 | 3                 | 0                 | 4      |
|                |              |                 | Sericostratidae   | <i>Oecismus menedula</i>         | 2                 | 0                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 |                   | <i>Sericostoma</i> sp            | 26                | 0                 | 0                 | 26     |
|                |              | Ephemeroptères  | Heptageniidae     | <i>Electrogena</i> sp            | 0                 | 2                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 | Caenidae          | <i>Caenis</i> sp                 | 6                 | 0                 | 0                 | 6      |
|                |              |                 | Baetidae          | <i>Baetis</i> sp                 | 16                | 147               | 23                | 186    |
|                |              |                 | Oligoneuriidae    | <i>Oligoneuriella</i> sp         | 2                 | 7                 | 1                 | 10     |
|                |              |                 | Ephemerellidae    | <i>Ephemerella lato sensu</i>    | 4                 | 2                 | 0                 | 6      |
|                |              |                 |                   | <i>Torleya</i> sp                | 0                 | 4                 | 0                 | 4      |
|                |              | Coleoptères     | Leptophlebiidae   | <i>Leptophlebia</i> sp           | 6                 | 1                 | 0                 | 7      |
|                |              |                 | Siphonuridae      | <i>Siphonurus</i> sp             | 2                 | 7                 | 0                 | 9      |
|                |              |                 | Gyrinidae         | <i>Orectogyrus specularis</i>    | 16                | 0                 | 9                 | 25     |
|                |              |                 |                   | <i>Aulonogyrus flavipes</i>      | 15                | 110               | 1                 | 126    |
|                |              |                 | Syrphidae         | ////                             | 0                 | 0                 | 1                 | 1      |
|                |              |                 | Hygrobiidae       | <i>Hygrobia</i> sp               | 4                 | 0                 | 0                 | 4      |
|                |              |                 |                   | <i>Coelostoma</i> sp             | 0                 | 0                 | 1                 | 1      |
|                |              |                 | Hydrophilidae     | <i>Laccobius</i> sp              | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 |                   | <i>Hydrophilus</i> sp            | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Hydraenidae       | <i>Limnebius</i> sp              | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Hydrochidae       | <i>Hydrochus</i> sp              | 1                 | 0                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Halipidae         | <i>Brychius</i> sp               | 0                 | 1                 | 0                 | 1      |
|                |              |                 | Scirtidae         | <i>Lave d'élodes</i>             | 4                 | 0                 | 0                 | 4      |
|                |              |                 | Dytiscidae        | <i>Rhantus</i> sp                | 0                 | 0                 | 1                 | 1      |
|                |              |                 | Elmidae           | <i>Limnius</i> sp                | 2                 | 0                 | 1                 | 3      |
|                |              | Diptères        | Culicidae         | ////                             | 0                 | 3                 | 0                 | 3      |
|                |              |                 | Simuliidae        | ////                             | 0                 | 2                 | 0                 | 2      |
|                |              |                 |                   | <i>Simulini</i> sp               | 0                 | 0                 | 2                 | 2      |
|                |              |                 | Tipulidae         | ////                             | 0                 | 0                 | 1                 | 1      |
|                |              |                 | Empididae         | ////                             | 3                 | 0                 | 0                 | 3      |

|                |              |                 |                 |                             |            |            |            |             |
|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------|------------|------------|-------------|
|                |              |                 | Chironomidae    | <i>Chironomini sp</i>       | 0          | 4          | 11         | 15          |
|                |              |                 |                 | <i>Nymphe sp</i>            | 0          | 1          | 2          | 3           |
|                |              |                 |                 | <i>Nymphe chaoborus</i>     | 0          | 1          | 0          | 1           |
|                |              |                 |                 | ////                        | 2          | 1          | 0          | 3           |
|                |              |                 |                 | <i>Chironomus sp</i>        | 5          | 36         | 88         | 129         |
|                |              | Blattodea       | Blaberidae      | ////                        | 7          | 0          | 0          | 7           |
| Plathelminthes | Turbellariés | Tricladida      | Dugesiiidae     | <i>Cura foremanii</i>       | 2          | 23         | 23         | 48          |
|                | Achètes      | Rhynchobdellida | Glossiphoniidae | <i>Haementeria costata</i>  | 0          | 1          | 2          | 3           |
|                |              |                 |                 | <i>Branchiura sowerbyi</i>  | 0          | 30         | 1          | 31          |
|                |              |                 |                 | <i>Eiseniella tetraedra</i> | 0          | 6          | 0          | 6           |
|                |              |                 |                 | ////                        | 0          | 1          | 0          | 1           |
|                |              |                 |                 | ////                        | 3          | 1          | 1          | 5           |
| <b>Totaux</b>  |              |                 | <b>56</b>       | <b>86</b>                   | <b>518</b> | <b>875</b> | <b>766</b> | <b>2159</b> |

**Annexe 4 : Fréquence d'occurrence des différentes familles de macroinvertébrés échantillonnées dans les différentes stations du cours d'eau Esoa.**

|                  | Fréquences d'occurrences |       |       |                  | Fréquences d'occurrences |       |       |
|------------------|--------------------------|-------|-------|------------------|--------------------------|-------|-------|
| Macroinvertébrés | Esoa1                    | Esoa2 | Esoa3 | Macroinvertébrés | Esoa1                    | Esoa2 | Esoa3 |
| Planorbidae      | +                        | +     | -     | Perlidae         | +                        | -     | -     |
| Physidae         | -                        | +     | +++   | Glossosomatidae  | +                        | +     | -     |
| Potamidae        | ++                       | ++    | +++   | Baetidae         | +++                      | ++    | ++    |
| Gerridae         | +++                      | ++    | -     | Gyrinidae        | +++                      | +++   | ++    |
| Belostomidae     | +++                      | ++    | ++    | Syrphidae        | -                        | -     | +     |
| Veliidae         | +++                      | ++    | +     | Tipulidae        | -                        | -     | +     |
| Naucoridae       | +++                      | +++   | ++    | Chironomidae     | +                        | +++   | +++   |
| Coenagrionidae   | +++                      | +++   | +++   | Blaberidae       | +                        | -     | -     |
| Caloptérygidae   | +++                      | +++   | ++    | Tubificidae      | -                        | ++    | +     |
| Gomphidae        | +++                      | +++   | +     | Haplotaixidae    | ++                       | +     | +     |

- : F= 0% (taxons absents), + : F≠ 0% et inférieure à 25% (taxons rare), ++ : 50%>F ≥25% (taxons fréquents), +++ : 50%≥ F (taxons très fréquents)

**Annexe 5 : Variation temporelle de la qualité des eaux du cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.**

| Indices/mois                  | Janvier | Février | Mars    | Avril   | Mai     | Juin   |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Variété taxonomique           | 27      | 31      | 24      | 22      | 27      | 29     |
| Classes de variétés           | 8       | 9       | 7       | 7       | 8       | 9      |
| Groupe faunistique indicateur | 5       | 7       | 4       | 4       | 5       | 7      |
| IBGN                          | 12      | 15      | 10      | 10      | 12      | 15     |
| Qualité de l'eau              | Moyenne | Bonne   | Moyenne | Moyenne | Moyenne | Bonne  |
| Niveau de pollution           | Modéré  | Faible  | Modéré  | Modéré  | Modéré  | Faible |

