

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

# Structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques de cours d'eau en sol volcanique du département du Moungo (Région du Littoral, Cameroun) et influence des facteurs abiotiques

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

BETSI Wilfreid Christiane Noël

Matricule 12Q0036

*Master ès-Sciences*



Devant le jury composé de :

Président : AJEAGAH Gidéon AGHAINDUM, *Professeur*,

Rapporteurs : NOLA Moïse, *Professeur*,

FOTO MENBOHAN Samuel, *Maître de Conférences*

Membres : ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, *Professeur*,

MOUSSA DJAOUA, *Maître de Conférences*

NOAH EWOTI Olive Vivien, *Maître de Conférences*

Université de Yaoundé I

Université de Yaoundé I

Université de Yaoundé I

Université de Yaoundé I

Université de Maroua

Université de Yaoundé I

Année 2025

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

# Structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques de cours d'eau en sol volcanique du département du Moungo (Région du Littoral, Cameroun) et influence des facteurs abiotiques

## THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Animaux

Option : **Hydrobiologie et Environnement**

Par

**BETSI Wilfreid Christiane Noël**

Matricule 12Q0036

*Master ès -Sciences*

Devant le jury composé de :

**Président : AJEAGAH Gidéon AGHAIDUM, Professeur,**

Université de Yaoundé I

**Rapporteurs : NOLA Moïse, Professeur,**

Université de Yaoundé I

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

Université de Yaoundé I

**Membres : ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, Professeur,**

Université de Yaoundé I

**MOUSSA DJAOUA, Maître de Conférences,**

Université de Maroua

**NOAH EWOTI Olive Vivien, Maître de Conférences,**

Université de Yaoundé I

**Année 2025**

REPUBLIQUE DU CAMEROUN  
Paix - Travail – Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

B.P. 812 Yaoundé  
Tél: (237) 242 23 95 84  
Fax: (237) 242 23 44 96



REPUBLIC OF CAMEROON  
Peace – Work – Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
FACULTY OF SCIENCE

\*\*\*\*\*

P.O. BOX 812 Yaounde  
Phone: (237) 242 23 95 84  
Fax: (237) 242 23 44 96

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

## ATTESTATION DE CORRECTION

\*\*\*\*\*

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la **Thèse de Doctorat/Ph.D** en **Biologie des Organismes Animaux**, Option : **Hydrobiologie et Environnement**, de Madame **BETSI Wilfreid Christiane Noël**, matricule **12Q0036**, soutenance autorisée par la correspondance N° **251552/UYI/VR-EPDTIC/DAAC/DA-AAC/DRD/SR/SR-A/ATc** du Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du **15 avril 2025** sur le sujet intitulé: **«Structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques de cours d'eau en sols volcanique du département du Moungo (Région du Littoral, Cameroun) et influence des facteurs abiotiques »**, attestons que les corrections exigées à la candidate lors de cette évaluation, qui a eu lieu le **jeudi 08 mai 2025** dans la **salle S01/S02 de la Faculté des Sciences**, ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

Fait à Yaoundé, le **25 JUL 2025** .....

L'Examineur


Le Chef de Département



**Pr. Sévilor KEKEUNOU**  
Faculté des Sciences  
Université de Yaoundé I

Le Président du Jury

*Pr. Agagah Gideon Aghaindum*

<b>UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I</b> <b>Faculté des Sciences</b> Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		<b>THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I</b> <b>Faculty of Science</b> Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs
<b>Liste des Enseignants Permanents</b>		<b>List of Permanent Teaching Staff</b>

## LISTE PROTOCOLAIRE DE LA FACULTE DES SCIENCES

ANNÉE ACADEMIQUE 2024/2025

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 16 Janvier 2025

### ADMINISTRATION

1. **DOYEN** : OWONO OWONO Luc Calvin, *Professeur*
2. **VICE-DOYEN / DPSAA**: NDJIGUI Paul-Désiré, *Professeur*
3. **VICE-DOYEN / DSSE** : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*
4. **VICE-DOYEN / DRC** : NOUNDJEU Pierre, *Maître de Conférences*
5. **Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*
6. **Chef Division des Affaires Académiques, de la Recherche et de la Sclolarité DAARS** : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

### 1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (44)

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1.	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2.	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3.	KANSCI Germain	Professeur	En poste
4.	MBACHAM FON Wilfred	Professeur	En poste
5.	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	NGUEFACK Julienne	Professeur	En poste
7.	NJAYOU Frédéric Nico	Professeur	En poste
8.	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9.	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10.	AKINDEH MBUH NJI	Maître de Conférences	En poste
11.	BEBEE Fadimatou	Maître de Conférences	En poste
12.	BEBOY EDJENGUELE Sara N.	Maître de Conférences	En poste
13.	FONKOUA Martin	Maître de Conférences	En poste
14.	ATOGHO Barbara MMA	Maître de Conférences	En poste
15.	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
16.	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	<i>Chef DAF / FS</i>
17.	DAKOLE DABOY Charles	Maître de Conférences	En poste
18.	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Maître de Conférences	En poste
19.	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste

20.	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Maître de Conférences	En poste
21.	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	<i>VD/FS/Univ Ebwa</i>
22.	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
23.	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
24.	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
25.	MANANGA Marlyse Joséphine	Maître de Conférences	En poste
26.	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
27.	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS / UDs</i>
28.	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
29.	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
30.	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
31.	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
32.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
33.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
34.	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
35.	PECHANGOU NSANGO Sylvain	Chargé de Cours	En poste
36.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste
37.	BAKWO BASSOGOG Christian Bernard	Chargé de Cours	En Poste
38.	ELLA Fils Armand	Chargé de Cours	En Poste
39.	EYENGA Eliane Flore	Chargé de Cours	En Poste
40.	MADIESSE KEMGNE Eugenie Aimée	Chargé de Cours	En Poste
41.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Chargé de Cours	En Poste
42.	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Chargé de Cours	En poste
43.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
44.	WOGUIA Alice Louise	Chargé de Cours	En Poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (49)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2.	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
3.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
4.	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
5.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
6.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	<i>Chef de Département</i>
7.	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
8.	NOLA Moïse	Professeur	En poste
9.	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste

10.	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service / Coord.Progr./MINSANTE</i>
11.	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
12.	ALENE Désirée Chantal	Maître de Conférences	<i>Vice Doyen/ Uté Ebwa</i>
13.	ATSAMO Albert Donatien	Maître de Conférences	En poste
14.	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15.	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16.	GOUNOUE KAMKUMO Raceline épouse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
17.	KANDEDA KAVAYE Antoine	Maître de Conférences	En poste
18.	JATSA BOUKENG Hermine épse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
19.	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20.	MAHOB Raymond Joseph	Maître de Conférences	En poste
21.	MBENOUN MASSE Paul Serge	Maître de Conférences	En poste
22.	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
23.	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste
24.	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Maître de Conférences	En poste
25.	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
26.	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
27.	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
28.	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste
29.	TADU Zephyrin	Maître de Conférences	En poste
30.	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
31.	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
32.	YEDE	Maître de Conférences	En poste
33.	AMBADA NDZENGUE GEORGIA ELNA	Chargé de Cours	En poste
34.	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
35.	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
36.	FEUGANG YOUMSSI François	Chargé de Cours	En poste
37.	FOKAM Alvine Christelle Epse KENGNE	Chargé de Cours	En poste
38.	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
39.	KOGA MANG DOBARA	Chargé de Cours	En poste
40.	LEME BANOCK Lucie	Chargé de Cours	En poste
41.	MAPON NSANGO Indou	Chargé de Cours	En poste
42.	METCHI DONFACK MIREILLE FLAURE EPSE	Chargé de Cours	En poste
43.	NGOULATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
44.	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Chef Div. Uté Bamenda</i>
45.	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste

46.	YOUNOUSSA LAME	Chargé de Cours	En poste
47.	NDENGUE Jean De Matha	Chargé de Cours	En poste
48.	ZEMO GAMO Franklin	Chargé de Cours	En poste
49.	KODJOM WANCHE Jacguy Joyce	Assistante	En poste

### 3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (36)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
3.	BIYE Elvire Hortense	Professeur	En poste
4.	MBOLO Marie	Professeur	En poste
5.	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
6.	NDONGO BEKOLO	Professeur	En poste
7.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
8.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9.	DJEUANI Astride Carole	Maître de Conférences	En poste
10.	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Maître de Conférences	En poste
11.	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
12.	NGALLE Hermine BILLE	Maître de Conférences	En poste
13.	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	<i>CT / MINRESI</i>
14.	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
15.	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
16.	ONANA JEAN MICHEL	Maître de Conférences	En poste
17.	DIDA LONTSI Sylvere Landry	Chargé de Cours	En poste
18.	GONMADGE CHRISTELLE	Chargée de Cours	En poste
19.	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
20.	MANGA NDJAGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
21.	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
22.	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
23.	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargé de Cours	<i>En détachement/UNESCO MALI</i>
24.	GODSWILL NTSOMBOH	Chargé de Cours	En poste
25.	KABELONG BANAHOU Louis-	Chargé de Cours	En poste
26.	KONO Léon Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
27.	LIBALAH Moses BAKONCK	Chargé de Cours	En poste
28.	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Chargé de Cours	En poste
29.	TAEDOUNG Evariste Hermann	Chargé de Cours	En poste
30.	TEMEGNE NONO Carine	Chargé de Cours	En poste
31.	BOLIE Hubert	Assistant	En poste
32.	MACHE NKOUANDEU Pasma	Assistante	En poste
33.	MAFFO FOKOU Adèle	Assistante	En poste
34.	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste
35.	NTONMEN YPNKEU Amandine	Assistante	En poste

36.	ONANA EBODE Clotaire	Assistant	En poste
-----	----------------------	-----------	----------

#### 4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (28)

1.	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Mission PR</i>
2.	NANSEU NJIKI Charles Péguy	Professeur	En poste
3.	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
4.	NENWA Justin	Professeur	En poste
5.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
6.	NJOYA Dayirou	Professeur	En poste
7.	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
8.	EMADAK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
9.	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
10.	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
11.	KENNE DEDZO GUSTAVE	Maître de Conférences	En poste
12.	MBEY Jean Aime	Maître de Conférences	En poste
13.	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
14.	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Maître de Conférences	<i>Sénatrice/SENAT</i>
15.	NYAMEN Linda Dyorisse	Maître de Conférences	En poste
16.	PABOUDAM GBAMBIE AWAWOU	Maître de Conférences	En poste
17.	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
18.	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Maître de Conférences	<i>Chef Service/ ENS Bertoua</i>
19.	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Maître de Conférences	En poste
20.	KOUOTOU DAOUDA	Maître de Conférences	En poste

21.	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
22.	NCHIMI NONO KATIA	Chargée de Cours	En poste
23.	NJANKWA NJABONG N. Eric	Chargé de Cours	En poste
24.	PATOUOSSA ISSOFA	Chargé de Cours	En poste
25.	SIEWE Jean Mermoz	Chargé de Cours	En Poste
26.	BOYOM TATCHEMO Franck W.	Assistant	En Poste
27.	DANTIO NGUELA Christian Brice	Assistant	En poste
28.	LEKENE NGOUATEU Reine	Assistant	En poste

#### 5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (35)

1.	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>DEPE/Univ. Bertoua</i>
2.	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/FSE/UIYI</i>
3.	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	<i>Chef de Département UDS</i>
4.	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Recteur UBertoua/ Chef de Département</i>
5.	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
6.	MKOUNGA Pierre	Professeur	En poste

7.	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
8.	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
9.	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
10.	KAMTO Eutrophe Le Doux	Maître de Conférences	En poste
11.	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
12.	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13.	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
14.	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
15.	NGOMO Orléans	Maître de conférences	En poste
16.	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule MINRESI</i>
17.	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<i>C.E.A/ MINESUP</i>
18.	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>DAAC/Uté Bertoua</i>
19.	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
20.	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
21.	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
22.	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
23.	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

24	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
25	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
26	NONO NONO Éric Carly	Chargé de Cours	En poste
27	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
28	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
29	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
30	TCHAMGOUE Joseph	Chargé de Cours	En poste
31	TSAFFACK Maurice	Chargé de Cours	En poste
32	TSAMO TONTSA Armelle	Chargé de Cours	En poste
33	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	En poste

34	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste
35	NGUEMDJO CHIMEZE Valery Wilfried	Assistant	En poste

## 6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Division MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Inspecteur Général/ MINESUP</i>
3.	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
4.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste
5.	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	<i>Chef de Cellule MINFOPRA</i>
6.	AMINOU HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
7.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
8.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
9.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste

10.	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
11.	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste
12.	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
13.	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
14.	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	En poste
15.	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
16.	NZEKON NZEKO'O ARMEL JACQUES	Chargé de Cours	En poste
17.	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Sous-Directeur ENSET Ebolowa</i>
18.	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste

19	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	<i>Directeur CUTI</i>
22	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

### 7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (33)

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef Service des Programmes &amp; Diplômes/FS/UYI</i>
7.	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
8.	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
9.	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste
10	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINEPAT</i>
11	BOGSO ANTOINE Marie	Chargé de Cours	En poste
12	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
15	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
16	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
20	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
21	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
22	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
23	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste
24	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>

25	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
26	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
29	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
30	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
31	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
32	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistant	En poste
33	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste

### 8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (24)

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	KOUITCHEU MABEKU Epse	Professeure	En poste
	KOUAM Laure Brigitte		
3.	MUNE MUNE Martin Alain	Professeur	En poste
4.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
5.	RIWOM Sara Honorine	Professeure	En poste
6.	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Professeur	En poste
7.	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	<i>Doyen/FASA/Uds</i>
8.	BOUGNOM Blaise Pascal	Maître de Conférences	En poste
9.	NJIKI BIKOÏ Jacky	Maître de Conférences	En poste
10	TCHIKOUA Roger	Maître de Conférences	<i>Chef Service de la Scolarité</i>
11	EHETH Jean Samuel	Chargé de Cours	En poste
12	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
13	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste
14	MEYIN A EBONG Solange	Chargé de Cours	En poste
15	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargé de Cours	<i>Cheffe de service/DAAC/UIYI</i>
16	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
17	NKOUÉ TONG Abraham	Chargé de Cours	En poste
18	NGOUE NAM Romial Joël	Chargé de Cours	En poste
19	NJAPNDOUNKE Bilkissou	Chargé de Cours	En poste
20	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargé de Cours	En poste
21	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste

22	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Chargé de Cours	En poste
23	MAYI Marie Paule Audrey	Assistante	En poste
24	ZO'O EZO'O Fabrice Télesfor	Assistant	En poste

### 9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (45)

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3.	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. Uté Ngaoundéré</i>
4.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5.	HONA Jacques	Professeur	En poste
6.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
9.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10.	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
12.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FSUniv/Bda</i>
13.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16.	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
17.	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18.	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19.	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20.	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
22.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
23.	MEL'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
24.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
25.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
26.	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27.	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>
30.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférence	<i>En stage depuis février 2023</i>
31.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
32.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
33.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
34.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
35.	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste

36.	FOUEJIO David	Chargé de Cours	<i>Chef Cell. MINADER</i>
37.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
38.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
39.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	Directeur Unité de production des réactifs/IMPM
40.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
41.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste
42.	NGA ONGODO Dieudonné	Assistant	En poste
43.	MAYI Marie Paule Audrey	Assistante	En poste
44.	TCHODIMOU Carole	Assistant	En poste
45.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)</b>
--

1.	BISSO Dieudonné	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	EKOMANE Emile	Professeur	<i>Chef Div./Uté Ebolowa</i>
3.	GANNO Sylvestre	Professeur	En poste
4.	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	<i>Chef de Département</i>
5.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Professeur	<i>CEA/MINRESI</i>
6.	NGOS III Simon	Professeur	En poste
7.	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
8.	ONANA Vincent Laurent	Professeur	<i>Chef de Département/Uté. Eb.</i>
9.	YENE ATANGANA Joseph Q.	Professeur	<i>Chef Div. /MINTP</i>
10.	TCHOUANKOUE Jean Pierre	Professeur	En poste
11.	Elisé SABABA	Maitre de Conférences	En poste
12.	EYONG John TAKEM	Maître de Conférences	En poste
13.	FUH Calistus Gentry	Maître de Conférences	<i>Sec. d'Etat/MINMIDT</i>
14.	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
15.	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	<i>Chef de Div. /Uté Bertoua</i>
16.	MBIDA YEM	Maitre de Conférences	En poste
17.	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/MINIMDT</i>
18.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste
19.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
20.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
21.	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
22.	TCHAKOUNTE Jacqueline épse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cell /MINRESI</i>
23.	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
24.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
25.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
26.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
27.	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
28.	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste

29.	EYONG John TAKEM	Chargé de Cours	En poste
30.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Chargée de Cours	En poste
31.	MBESSE Cécile Olive	Chargée de Cours	En poste
32.	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33.	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Chef Serv./Uté Maroua</i>
34.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
36.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
37.	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
38.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
39.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
40.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste
41.	KOAH NA LEBOGO Serge Parfait	Chargé de Cours	En poste
42.	NGO'O ZE ARNAUD	Chargé de Cours	En poste
43.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Chargé de Cours	En poste

## Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	15 (11)	13 (03)	7 (05)	<b>43 (20)</b>
BPA	14 (01)	16 (09)	18 (04)	4 (02)	<b>52 (16)</b>
BPV	6 (01)	12 (02)	13 (07)	3 (00)	<b>34 (10)</b>
CI	7 (01)	15 (04)	5 (01)	1 (00)	<b>28 (06)</b>
CO	6 (01)	18 (04)	11 (04)	2 (00)	<b>37 (09)</b>
IN	2 (00)	2 (00)	14 (01)	4 (00)	<b>22 (01)</b>
MAT	1 (00)	8 (00)	17 (01)	7 (02)	<b>33 (03)</b>
MIB	2 (01)	7 (03)	8 (04)	7 (02)	<b>24 (10)</b>
PHY	15 (01)	15 (04)	11 (01)	2 (00)	<b>43 (06)</b>
ST	8 (00)	17 (03)	15 (04)	3 (01)	<b>43 (08)</b>
<b>Total</b>	<b>69 (07)</b>	<b>125 (40)</b>	<b>125 (30)</b>	<b>40 (12)</b>	<b>359 (89)</b>

Soit un total de **359 (89)** dont :

- Professeurs **67 (11)**
- Maîtres de Conférences **122 (41)**
- Chargés de Cours **128 (32)**
- Assistants **30 (09)**

( ) = Nombre de Femmes

**94**

**DEDICACE**

*A ma grand-mère* **DJEUNOU Julienne**

*Et mes chers parents,*

**NFEUNSO RAYMOND**

*Et*

**NFEUNSO PASCALÉ**

## REMERCIEMENTS

Je voudrais avant toute chose rendre grâce à **l'ÉTERNEL DIEU TOUT-PUISSANT** qui me comble de ses bienfaits et m'accompagne chaque jour dans tous mes projets et activités à chaque instant de ma vie.

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au sein des Laboratoires d'Hydrobiologie et Environnement et de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I.

A l'issue de ce travail, je me fais un devoir de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé au cours de mes années d'études universitaires.

Ma pensée va à l'endroit de mon Directeur de mémoire, le Professeur **FOTO MENBOHAN Samuel**, qui a bien voulu accompagner mes pas dans le monde exigeant et passionnant de la recherche. Son dévouement au travail, sa discipline, sa simplicité et l'immense confiance manifestée à ma personne ont été inestimables. Merci pour la disponibilité et la compréhension que vous m'avez témoignées tout au long des travaux.

J'exprime ma profonde reconnaissance au Professeur **NOLA Moïse**, Co-Directeur de ce travail, pour ses innombrables conseils, sa rigueur méthodique, scientifique et ses critiques constructives.

J'exprime également ma gratitude à tous les enseignants de la Faculté des Sciences, particulièrement ceux du Département de Biologie et Physiologie Animales qui ont participé à ma formation. Je pense aux Professeurs **\*BILONG BILONG Charles Félix, FOMENA Abraham, AJEAGAH AGHAINUM Gideon, ZEBAZE TOGOUET Serges Hubert, KEKEUNOU Sévilor, DJIÉTO-LORDON Champlain, TAN Paul, DIMO Théophile, JATSA épouse MEGAPTCHE Hermine, MEGNEKOU Rosette, MOUGANG Luciane Marlyse, NOAH ÉWOTI Olive Vivien, TAMSA ARFAO, NKENGAZONG Lucia et BENOUM MASSE.**

J'ai une pensée particulière pour les Docteurs **BIRAM à NGON Eric, DZAVI Jean, MBOYE Blaise, NWAHA Mathias, WANDJI Alain, TSOMENE NAMEKONG Pierre, MBOUOMBOUO MAMA, ASI GUIGLE, TCHAKONTÉ Siméon, KAYO TUEKAM Raoul Polycarpe, METSOPKENG Claire, MOANONO Patrick, NGWOS NHIOMOCK Serge, BOUDEM TSANE Cécile, MBADJOUN NZIKE Marcelle, KOUEDEUM Eric, NANFACK Rodrigue et POUNTOUGNIGNI Farikou** pour les conseils et les encouragements durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à dire merci à tous les braves membres de l'équipe de recherche les **"Fotozoaires"** dont le dynamisme et la simplicité, ont été des éléments qui ont facilités la

réalisation de ce travail. Que cette thèse soit le signe de ma reconnaissance pour tous les efforts et sacrifices consentis pour sa réalisation.

Je suis très reconnaissante à toutes les personnes qui ont pris du temps pour me tenir compagnie pendant les campagnes d'échantillonnage sur le terrain. Je pense particulièrement à **TCHOUAPI Ivonne Laure** et **LACTIO Larry**. Sans vous ce travail n'aurait pas connu son aboutissement avec succès. Je remercie nos différents moto-taximen qui malgré les caprices de la nature ont toujours bravé les obstacles pour nous conduire aux sites. Je pense particulièrement à **Polanski, Kevin** et **NYAMBE**.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes aînés de laboratoire, en particulier à messieurs et mesdames **NYAME MBIA Donald-l'Or**, **NGALAMOU Chamberline**, **MELLE Carine**, **NJOYA Zakari**, **SOB NANGOU Paul**, **MADIESSE Nelly**, **MVONDO Narcisse** et **MBANGA MEDJO Pascale** et à tous ceux dont les noms n'apparaissent pas dans ce document pour leurs contributions et leurs soutiens dans la réalisation de ce travail.

Je ne saurais oublier mes camarades de la promotion « **Persévérance** » en particulier **MESSOE William**, **TCHOUTA Ulric**, **EDIOH Frédéric**, **KASSING Arnaud**, **NCHETGNIGNINDI Amandine**, **NDEM Valentin**, **POUTOUM Yves**, **BIYONG Créence**, **ACHA Yannick** **ACHA**, **DJIALA Morelle**, **BALENG Samuel** et spécialement à **YONGUI Danielle** et au **DrTEMGOUA Anita** avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.

Un merci particulier à mes grands-parents, à mes frères et sœurs **NOUTCHA Brandon**, **TCHOUFONG Leslie**, **DJEUNOU Milène**, **TCHOUGNIA Orelle** et **NGAPMEN Ezéchiel**, à **Mme DJOMNANG Yollande**, aux familles **MBETSI**, **TCHATCHOU**, **YODJEU**, **TONMY**, **TCHATAT**, **KOUETCHOU**, **TCHOGNIA**, **NGATCHA**, **TCHOUATEU**, **DJOMGANG**, **NYA**, **SANAMA** et **AHANDA**, tous mes cousins, cousines, neveux et nièces qui m'ont toujours soutenue et dont j'ai voulu honorer pour leur soutien et leur encouragement.

C'est avec beaucoup d'émotion et une immense affection que je remercie très sincèrement Monsieur **NANKAM Maxime** pour son amitié et son soutien inestimables, et ma fille **NANKAM NFEUNSO Shimela** qui est ma source de motivation. Merci de m'avoir soutenue et encouragée pendant les moments d'incertitude et de lassitude.

J'adresse une pensée particulière à mes amis, **DONGMO MENANFANG Devaloise**, **NAMEKONG Parfait**, **AJOUTIMBA Arielle**, **MEBENGA Christine**, **NJIKE Tatiana** et **NDOUTGAM Linda** pour leur soutien et encouragement.

Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ACC</b>	: Analyse Canonique des Correspondances
<b>ACP</b>	: Analyse en Composantes Principales
<b>AE</b>	: Agence de l'Eau
<b>APHA</b>	: <i>American Public Health Association</i>
<b>CEAEQ</b>	: Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec
<b>EPT</b>	: Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères
<b>EPTC</b>	: Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères
<b>EPTD</b>	: Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Décapodes
<b>EPTH</b>	: Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Hémiptères
<b>FBI</b>	: <i>Family Biotic Index</i>
<b>FTU</b>	: <i>Formazin Turbidity Unit</i>
<b>GPS</b>	: <i>Global Positioning System</i>
<b>IndVal</b>	: <i>Indicator Value</i>
<b>INRA</b>	: Institut National de la Recherche Agronomique
<b>IPO</b>	: Indice de Pollution Organique
<b>MDDEFP</b>	: Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
<b>MEDDE</b>	: Ministère de l'Education, du Développement Durable et de l'Environnement
<b>MES</b>	: Matières En Suspension
<b>MIB</b>	: Macroinvertébrés benthiques
<b>Pt-Co</b>	: Platinium Cobalt
<b>RCC</b>	: <i>River Continuum Concept</i>
<b>SOM</b>	: <i>Self Organizing Map</i>
<b>SPSS</b>	: <i>Statistical Package for Social Science.</i>
<b>TDS</b>	: <i>Total Dissolved Solids</i>
<b>UC</b>	: Unité Conventiionnelle
<b>UESPA</b>	: <i>United States Environment Protection Agency</i>
<b>UICN</b>	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature
<b>WFD</b>	: <i>Water-Framework-Directive</i>

## SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE DE LA FACULTE DES SCIENCES .....	i
LISTE DES ABREVIATIONS .....	xvi
LISTE DES TABLEAUX .....	xxiii
LISTE DES ANNEXES .....	xxiv
RÉSUMÉ.....	xxv
ABSTRACT .....	xxvii
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	5
I.1 Généralités sur les sols volcaniques du Moungo .....	6
I.1.1 Définitions de quelques termes.....	6
I.2 Généralités sur les écosystèmes aquatiques .....	9
I.2.1 Activités anthropiques altérant les milieux lotiques.....	10
I.2.2 Fonctionnement écologique des milieux lotiques.....	10
I.3. Intégrité écologique des milieux lotiques.....	11
I.3.1. Notions de santé et d'intégrité des hydrosystèmes .....	11
I.3.2. Importance du maintien de l'intégrité écologique des hydrosystèmes lotiques .....	12
I.4. Pollution des cours d'eau .....	12
I.4.1 Principales sources de pollution des hydrosystèmes lotiques .....	12
I.4.2. Différents types de pollution .....	13
I.4.3. Eutrophisation: une pollution nutritionnelle des eaux .....	14
I.5. Méthodes d'évaluation de la pollution des cours d'eau .....	14
I.5.1 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux par les sédiments .....	15
I.5.2 Surveillance de la qualité des eaux d'un cours d'eau .....	17
I.5.3 Caractérisation physico-chimique .....	18
I.5.4. Caractérisation biologique .....	20
Chapitre II : ZONE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES.....	29
II.1. ZONE D'ETUDE.....	30
II.1.1. Cadre géographique.....	30
II.1.2. Données météorologiques du département du Moungo pendant la période d'étude.....	30
II.2. MATÉRIEL .....	32
II.2.1. Bassin Versant du Moon .....	33
II.2.2. Bassin Versant de l'Esoa.....	35
II.2.3. Bassin versant de l'Egnoki .....	36

II.2.4. Bassin versant du Mbouroukou .....	38
II.3. METHODES .....	39
II.3.1. Mesure des variables hromorphométriques .....	39
II.3.2. Analyse de la qualité physico-chimique de l'eau .....	40
II.3.3. Echantillonnage et identification des macroinvertébrés benthiques .....	42
II.3.4. Utilisation de l'IPO .....	43
II.3.5. Indices de diversité des macroinvertébrés benthiques .....	43
II.3.6. Tests statistiques et analyse de données .....	48
Chapitre III: RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	51
III. 1. RESULTATS.....	52
III.1.1. Caractéristiques hydromorphologiques, édaphiques et physico-chimiques des cours d'eau étudiés.....	52
III.1.2. Diversité des macroinvertébrés benthiques dans chaque cours d'eau .....	74
III.2. Discussion.....	129
III.2.1. Caractérisation physico-chimique des cours d'eau .....	129
III.2.2. Dynamique d'abondance des macroinvertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau.....	132
III.2.3. Indices biocénétiques.....	135
III.2.4. Biotypologie, écologie et bioindication de la macrofaune benthique.....	137
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	140
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	144

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte pédologique du Moungo .....	8
Figure 2 : Photos de quelques Annélides d'eau douce.....	23
Figure 3 : Photos de quelques Mollusques d'eau douce.....	24
Figure 4 : Photos de quelques Insectes d'eau douce Insectes adultes .....	26
Figure 5 : Photos de quelques Crustacés d'eau douce.. .....	27
Figure 6 : A- Diagramme ombrothermique et B- variation temporelle des précipitations, de l'insolation, de l'ensoleillement par jour, de l'humidité relative de l'air et de la température de l'air dans le Moungo pendant la période d'étude .....	31
Figure 7 : Carte présentant les stations d'échantillonnage (Moon, Esoa, Egnoki, Mbouroukou) dans le département du Moungo .....	33
Figure 8 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Moon pendant la période d'étude .....	34
Figure 9 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau l'Esoa pendant la période d'étude .....	36
Figure 10 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau l'Egnoki.....	37
Figure 11 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Mbouroukou pendant la période d'étude.....	39
Figure 12: Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice (SOM).....	47
Figure 13: Variation spatio-temporelle de la température dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	54
Figure 14: Variation spatio-temporelle des teneurs en MES dans les cours d'eau pendant la période d'étude .....	55
Figure 15: Variation spatio-temporelle des valeurs de la turbidité dans les cours d'eau pendant la période d'étude.....	56
Figure 16: Variation spatio-temporelle de la couleur dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	57
Figure 17: Variation spatio-temporelle des valeurs du pH dans les cours d'eau pendant la période d'étude .....	58
Figure 18: Variation spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	60
Figure 19: Variation spatio-temporelle des teneurs en Azote ammoniacal dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	61

Figure 20: Variation spatio-temporelle des teneurs en Nitrates des différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	62
Figure 21: Variation spatio-temporelle des teneurs en Nitrite dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	64
Figure 22 : Variation spatio-temporelle des teneurs en Orthophosphate dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	65
Figure 23: Variation spatio-temporelle des teneurs en Oxygène dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	66
Figure 24: Variation spatio-temporelle des valeurs de l'Oxydabilité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	67
Figure 25: Variations spatio-temporelle des valeurs de l'alcalinité dans les différents cours d'eau pendant la durée de l'étude .....	68
Figure 26: Variation spatio-temporelle des valeurs de Solides Totaux Dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	69
Figure 27: Variation spatio-temporelle des teneurs en Dioxyde de carbone dans les différents cours d'eau pendant l'étude. ....	70
Figure 28: Variation des valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) dans les cours d'eau étudiés.....	71
Figure 29: Résultat de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des variables Physico-chimiques des différentes stations pendant la période d'étude .....	73
Figure 30: Richesse taxonomique des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau pendant la période d'étude.....	75
Figure 31: Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau pendant la période d'étude.....	75
Figure 32: Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques du cours deau Moon pendant la période d'étude. ....	78
Figure 33: Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Moon pendant la période d'étude. ....	78
Figure 34: Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans le Moon. ....	80
Figure 35: A-Abondance relative de quelques familles de macroinvertébrés benthiques aux différentes stations du cours d'eau Moon pendant la période d'étude. ....	82
Figure 36: Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Esoa pendant la période d'étude. ....	87

Figure 37: Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés dans l'Esoa pendant la période d'étude.....	87
Figure 38: Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans l'Esoa pendant la période d'étude. ....	89
Figure 39: Abondance des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa A- Abondance relative de quelques macroinvertébrés benthiques aux différentes stations.....	90
Figure 40: Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Egnoki. ....	95
Figure 41: Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques de l'Egnoki. ....	95
Figure 42: Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans l'Egnoki. ....	97
Figure 43: Abondance des macroinvertébrés benthiques dans l'Egnoki. ....	98
Figure 44: Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Mbouroukou. ....	103
Figure 45: Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés du Mbouroukou. ....	103
Figure 46: Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans le Mbouroukou A- Evolution mensuelle de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les stations.....	104
Figure 47: Abondance des macroinvertébrés benthiques dans le Mbouroukou.....	106
Figure 48: Variation du nombre de familles et abondance relative des macroinvertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau étudiés. ....	111
Figure 49: Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon & Weaver et de l'équitabilité de Piélou dans les différentes stations (A) et des sous-bassins versants (B) pendant la période d'étude. ....	111
Figure 50: Classification hiérarchique des cellules de la SOM par la méthode de Ward... ..	116
Figure 51: Distribution des échantillons sur la carte SOM à partir de la matrice d'abondance des macroinvertébrés benthiques .....	117
Figure 52: Patron de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisé à partir de la matrice d'abondance. ....	118
Figure 53 : Patron de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM réalisé à partir de la matrice d'abondance. ....	119
Figure 54: Distribution des taxons de macroinvertébrés aquatiques dans les différents groupes définis par la SOM.....	120

Figure 55: Variation du nombre de familles dans les différents groupes de la SOM. ....	121
Figure 56: Profil trophique des proportions de la richesse taxonomique et des abondances relatives des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude.....	125
Figure 57: Profil trophique des macroinvertébrés benthiques recoltés dans les cours d'eau.	126
Figure 58: Profil trophique des proportions de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude. ....	126
Figure 59: Profil trophique des abondances relatives des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude.....	127
Figure 60: Analyse Canonique de Correspondances (ACC) des principaux taxons de macroinvertébrés benthiques et des variables environnementales .....	128

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Echelle granulométrique utilisée pour l'évaluation granulométrique visuelle.....	16
<b>Tableau II:</b> Coordonnées géographiques et quelques caractéristiques des stations d'échantillonnage retenues dans les quatre cours d'eau. ....	32
<b>Tableau III:</b> Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique .....	43
<b>Tableau IV:</b> Classification du niveau de pollution en fonction des classes de valeurs de l'Indice de Pollution Organique .....	43
<b>Tableau V:</b> Grille d'interprétation de l'Indice Biotique de Hilsenhoff .....	46
<b>Tableau VI:</b> Valeurs des paramètres hydromorphologiques mesurés aux différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude.....	52
<b>Tableau VII:</b> Caractérisation édaphiques par les roches des cours d'eau étudiés. ....	53
<b>Tableau VIII:</b> Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Moon pendant la période d'étude. ....	83
<b>Tableau IX:</b> Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Esoa pendant la période d'étude.....	91
<b>Tableau X:</b> Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Egnoki pendant la période d'étude.....	99
<b>Tableau XI:</b> Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Mbouroukou pendant la période d'étude.....	107
<b>Tableau XII:</b> Fréquence d'occurrence des taxons dans les différentes stations d'échantillonnage pour l'ensemble des 13 campagnes effectuées .....	110
<b>Tableau XIII:</b> Valeurs du coefficient de similarité de Sørensen entre les communautés macrobenthiques récoltées aux différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude.....	112
<b>Tableau XIV:</b> Valeurs de l'Indice de Hilsenhoff dans les différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude. ....	113
<b>Tableau XV:</b> Variation spatiale de la richesse taxonomique des différents groupes descripteurs .....	113
<b>Tableau XVI:</b> Différentes tailles de carte de Kohonen et les erreurs de quantification et de topographie correspondantes .....	116

## LISTE DES ANNEXES

<b>Annexe 1:</b> Valeurs indicatrices de la première partition .....	158
<b>Annexe 2:</b> Valeurs indicatrices de la deuxième partition .....	161
<b>Annexe 3:</b> Valeurs indicatrices de Troisième partition .....	163

## RÉSUMÉ

La protection et la préservation de milieux aquatiques nécessite des études hydrobiologiques préalables dans chaque région écologique. A cet effet, des travaux ont été menés de janvier 2021 à janvier 2022 en vue d'étudier la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques dans quatre cours d'eau (Moon, Esoa, Egnoki, Mbouroukou) en sol volcanique. Les échantillonnages ont été réalisés dans trois stations de chaque cours d'eau suivant une fréquence mensuelle. Les analyses hydromorphologiques et physico-chimiques ont été réalisées suivant les méthodes classiques. Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été réalisées in situ et au laboratoire alors que les échantillons de macroinvertébrés benthiques collectés ont été identifiés par observation à la loupe binoculaire et des clés et ouvrages appropriés. Il en ressort de la qualité physico-chimique des eaux, qu'elle révèle une très bonne oxygénation ( $87 \pm 40\%$ ), un pH moyennement neutre ( $7,87 \pm 0,04$  UC), de faibles valeurs des formes azotées exception faite des nitrates ( $17,2 \pm 2,34$  mg/L), une faible minéralisation, de faibles valeurs de la conductivité électrique ( $> 300 \mu\text{S/cm}$ ), les valeurs peu variées de température ( $22,2 \pm 4,2^\circ\text{C}$ ), des valeurs élevées des orthophosphates ( $5,2 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$ ), une pollution organique nulle à forte et des teneurs relativement faibles des autres paramètres physico-chimiques (alcalinité, turbidité, MES.....) reflétant la faible anthropisation des cours d'eau. La macrofaune benthique récoltée montre un peuplement riche et diversifié qui compte 19219 individus appartenant à 4 embranchements, 7 classes, 16 ordres, 84 familles et plus de 100 genres. Parmi les espèces de macroinvertébrés benthiques récoltées dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude, les espèces *Caridina africana*, *Coenagrion* sp., *Orectogyrus specularis*, *Orthetrum* sp., *Diplectrona felix*, *Dinocras* sp., *Poissonia* sp., *Leptophlebia sylvatica*, *Chironomus* sp., *Cura foremanii*, *Velia* sp., *Haementeria costata*, *Tenagogonus albovidatus*, *Baetis* sp., *Macromia splendens*, *Ranatra linearis* et *Oligoneuriella* sp ont été observés. L'embranchement des Arthropodes avec 17746 individus, soit 92,33% d'abondance relative, la classe des Insectes avec 12343 individus soit 64,22%, et enfin l'ordre des Décapodes avec 5402 individus soit 28,10% d'abondance relative, supplantent cette macrofaune. L'étude de la structure du peuplement révèle la présence d'une faune benthique riche en taxons et diversifiée dans le cours d'eau Esoa et un peuplement plus abondant et moins diversifié dans le Mbouroukou. Les valeurs élevées de l'indice de diversité de Shannon et Weaver et de l'équitabilité de Piéluou dans les cours d'eau Esoa, Moon et Egnoki ( $H' = 3,80$  bits/ind et  $J = 0,62$ ,  $H' = 3,59$  bits/ind et  $J = 0,60$  et  $H' = 3,55$  bits/ind et  $J = 0,60$ ) traduisent une bonne répartition des individus au sein des différents microhabitats. Par contre, les faibles valeurs de ces indices ( $H' = 1,80$  bits/ind et  $J = 0,31$ ) dans le Mbouroukou sont le reflet d'une mauvaise adaptation des individus au sein des différents microhabitats. L'étude de

la dynamique des populations des macroinvertébrés montre une abondance plus élevée pendant la période pluvieuse (1096 ind au mois de mars) et plus faible pendant la période sèche (103 ind au mois de décembre). L'analyse des interactions écologiques montre à travers l'Analyse Canonique de Correspondances (ACC) que les basses températures de l'eau, la canopée, la bonne oxygénation et la faible minéralisation des eaux, un pH légèrement basique, les faibles conductivités électriques, les valeurs moyennes de l'indice de pollution organique (IPO) et un substrat sableux recouvert de feuilles mortes/débris ligneux constituent un ensemble de conditions propices à l'installation d'une communauté diversifiée de macroinvertébrés benthiques. Les résultats s'intègrent dans la dynamique du projet de l'élaboration d'un indice multimétrique camerounais.

**Mots clés :** Macroinvertébrés benthiques, sol volcanique, cours d'eau, Diversité, Dynamique d'abondance, département Moungo.

## ABSTRACT

Protecting and preserving of aquatic environment requires hydrobiological studies in each ecological region. To this end, work was carried out from January 2021 to January 2022 to study the diversity and abundance dynamics of benthic macroinvertebrates in four rivers (Moon, Esoa, Egnoki and Mbouroukou) in volcanic soil. Sampling was carried out at three stations in each river at monthly intervals. Hydromorphological, granulometric and physicochemical analyses were carried out using conventional methods. The physico-chemical parameters were measured in situ and in the laboratory, while the benthic macroinvertebrate samples collected were identified by observation with a binocular magnifying glass. The physico-chemical quality of the water shows very good oxygenation ( $87 \pm 40$  %), a moderately neutral pH ( $7,87 \pm 0,04$  UC), low values of nitrogenous forms with the exception of nitrates ( $17,2 \pm 2,34$  mg/L), low mineralisation, low values of electrical conductivity ( $> 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), average values of temperature, high values of Orthophosphates ( $5,2 \pm 0,08$   $\mu\text{g}/\text{L}$ ), relatively high values of organic pollution and low values of other physico-chemical parameters (alkalinity, turbidity, Suspended Solid.....), revealing the low anthropised watercourses. The benthic macrofauna shows a rich and diversified population, with 19219 individuals belonging to 4 phyla, 7 classes, 16 orders, 84 families and more than 100 genera. Among the species of benthic macroinvertebrates collected in all the watercourses during the study period, we have: *Caridina africana*, *coenagrion* sp., *Orectogyrus specularis*, *Orthetrum* sp., *Diplectrona felix*, *Dinocras* sp., *Poissonia* sp., *Leptophlebia sylvatica*, *Chironomus* sp., *Cura foremanii*, *Velia* sp., *Haementeria costata*, *Tenagobius albovittatus*, *Baetis* sp., *Macromia splendens*, *Ranatra linearis* et *Oligoneuriella* sp. The Arthropods phylum with 17746 individuals, for a relative abundance of 92.33%, the Insects class with 12343 individuals, for a 64.22%, and finally the Decapods order with 5402 individuals, for a relative abundance 28.10%, of dominated this macrofauna. A study of the structure of the benthic macroinvertebrate populations reveals a population rich in taxa and more diversified populations in the Esoa stream, more abundant and less diversified in the Mbouroukou stream. Also, the Shannon and Weaver diversity index above 3.5 and the Pielou equitability index regularly above 0.65 in the Esoa, Moon and Egnoki, reflect a better distribution of individuals within the populations of these two rivers. On the other hand, in the Mbouroukou stream, these indices are generally below 0.50, reflecting the low number of species. The study of population dynamics revealed that rainy months increase the biodiversity of benthic macroinvertebrates, whereas in dry months, the taxonomic richness decreases, due to the increase in pollution levels. The Canonical Correspondence Analysis

(CCA) showed that low water temperatures, the canopy, good oxygenation and low mineralisation of the water, a slightly basic pH, low electrical conductivities, average IPO values and a sandy substrate covered with dead leaves/woody debris are conditions favorable to installation of a wide diversity of benthic macroinvertebrates. The results obtained in this work will be used to the construction of a multimetric index.

**Key words:** Benthic macroinvertebrates, volcanic soil, Watercourses, Diversity, Abundance dynamics, Mounjo department.

# **INTRODUCTION**

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses de la planète. Elle est en quantité considérable sur la planète bleue et est en partie d'origine volcanique. En effet, elle provient partiellement du dégazage des volcans depuis la formation de la terre, ce qui a progressivement constitué l'atmosphère et l'hydrosphère. Aujourd'hui, l'eau des océans recouvre bon nombre de volcans profonds, inconnus et discrets et d'autres proches de la surface dont les éruptions sont grandement explosives (Ludovic Leduc, 2022). Ainsi, l'eau est indispensable à la survie des écosystèmes, de la biodiversité, de l'économie et de la société tout entière. Bien que la crise climatique mondiale ne constitue pas son unique menace, elle aggrave la situation actuelle, rendant de plus en plus difficile la gestion et la prévision de la gestion des ressources en eau et de leur qualité, et impose de nouvelles stratégies pour organiser cette ressource rare et précieuse au sein des pays et entre territoires voisins. Les changements globaux marqués par une accentuation des pressions anthropiques et climatiques ont un impact sur les écosystèmes lotiques et la faune aquatique, se traduisant par une modification des caractéristiques physicochimiques et hydrologiques des cours d'eau. Le monde est ainsi confronté à des défis considérables en matière de gestion équitable de l'eau douce disponible, ces défis étant dûs à une forte croissance démographique couplée à une urbanisation rapide et aux impacts du changement climatique (UICN, 2021). Ainsi, les enjeux liés à l'eau seraient de plus en plus importants dans un contexte de changement global incluant notamment les changements climatiques et l'évolution des sociétés humaines.

En outre, les pressions liées à la croissance humaine et aux besoins pour l'agriculture nécessitent d'apprécier la disponibilité des ressources en eau et l'évolution de leur qualité (pollution diffuse, pollution accidentelle, pollution émergente). Les interactions entre les différents compartiments (surface et souterrain) méritent d'être envisagées tant du point de vue physique que biologique. Il serait également important d'accroître les connaissances sur les effets des facteurs de stress multiples (contaminants, changements environnementaux, gestions de cycles hydro-climatiques) qui régissent les fonctions et les services écosystémiques associés ainsi que leur vulnérabilité pour préserver la biodiversité des milieux aquatiques. Ces prérequis permettraient d'améliorer les capacités de concevoir des scénarios de l'évolution de l'état de santé des écosystèmes sans pressions multiples. L'étude de l'évolution de la qualité de l'eau sera abordée selon une approche intégrée considérant les processus physiques (écoulement des eaux), processus chimiques avec un regard soutenu sur la biodiversité.

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 aquatiques, lesquels constituent très souvent le réceptacle terminal des résidus de la biosphère (Wang *et al.*, 2012). Cet aspect a un impact direct sur les macroinvertébrés benthiques (MIB) qui passent pour de bons bioindicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques (UESPA, 2002), et sont de ce fait les plus utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau (Hellowell, 1986; Barbour *et al.*, 1999; WFD, 2003), grâce à leur capacité à intégrer les effets cumulatifs et synergiques, des perturbations physiques, chimiques et biologiques dans les cours d'eau. Ils sont visibles à l'œil nu, ne possèdent pas de squelette osseux et peuvent vivre dans une diversité d'habitats durant tout leur cycle de vie ou une partie de leur phase de développement (MDDEFP, 2013). En outre, ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire aquatique, et interviennent de ce fait comme proies de plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Tachet *et al.*, 2010).

Au Cameroun, de nombreuses études se sont intéressées aux macroinvertébrés benthiques afin d'évaluer l'état de santé des cours d'eau dans certaines zones urbaines, périurbaines et forestières. Ainsi, l'impact des activités anthropiques sur la diversité et la structure des MIB a été mis en évidence par Foto Menbohan *et al.*, (2013). Des particularités écologiques et trophiques des Dictyoptera (Blaberidae) et macroinvertébrés benthiques dans quelques cours d'eau forestiers de la région du centre ont été mises en relief par Biram À Ngon *et al.*, (2018). Tchakonté *et al.*, (2014) ont montré l'impact des activités anthropogéniques sur la qualité de l'eau, la diversité et la distribution des crevettes d'eau douce dans cinq rivières de la ville de Douala à travers l'anthropisation et l'absence de systèmes d'assainissement. Enah Dickson *et al.*, (2018) ont montré la distribution des Chironomidae, bioindicateurs de la pollution organique dans un bassin versant à Bamenda dans la région du Nord-ouest Cameroun. Boudem Tsane *et al.*, (2021) ont montré l'influence du barrage hydroélectrique sur la distribution des MIB du cours d'eau Dja dans la région du Sud Cameroun. L'influence des facteurs abiotiques sur la biodiversité de la faune malacologique de quelques mangroves dans le Littoral camerounais a été montrée par Moanono *et al.*, (2021). D'autres études dans les cours d'eau des plaines ont montré la grande représentation des organismes du phylum des Arthropodes, avec une prédominance des Chironomidae et des Hydrophilidae identifiés à partir des caractères spécifiques (Melle Epounde *et al.*, 2023). L'influence de la granulométrie sur la distribution des MIB dans certains cours d'eau des bassins versants de la Mvila et du Haut Nyong à partir des sédiments a été montrée par Nyame Mbia *et al.*, (2023). Dzavi en 2024 a montré l'état écologique de quelques cours d'eau du bassin du Nyong au Cameroun à partir de

la diversité des MIB et des hyphomycètes aquatiques, de la décomposition de la litière et des analyses physico-chimiques.

Il a souvent été indiqué que les conditions pédologiques pouvaient avoir un impact sur la survie, la distribution, la diversité, le métabolisme et la reproduction des MIB dans les systèmes aquatiques. Peu d'études ont été réalisées sur la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques en sol volcanique. Une meilleure connaissance de la structure des communautés, de leur similarité, de leur variation spatio-temporelle, de leur affinité, de leur équipartition et de leur écologie trophique en relation avec les paramètres physico-chimiques de l'eau donnerait une idée sur la structure du peuplement des MIB dans un biotope aquatique naturel.

De ce constat se dégagent les questions de recherche suivantes :

- Quelles serait la structure du peuplement des MIB et les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau en sol volcanique du Moungo?
- Quelle serait le degré d'influence des caractéristiques abiotiques de ces eaux sur la biodiversité des MIB?

Le travail s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- la structure des MIB des cours d'eau en sol volcanique du Moungo serait différente de celle des eaux des autres régions du Cameroun ;
- La diversité de ces MIB et leur dynamique d'abondance seraient impactées par les propriétés abiotiques du biotope et les facteurs météorologiques de la région.

La présente étude réalisée dans la région Littorale du Cameroun, a visé à étudier la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau en sol volcanique, et évaluer l'influence des facteurs abiotiques. Plus spécifiquement, il s'est agi:

- déterminer la qualité de l'eau sur la base de la structure de macroinvertébrés benthiques de ces cours d'eau;
- d'analyser les facteurs abiotiques;
- évaluer l'influence des variables abiotiques sur les macroinvertébrés benthiques et définir le profil trophique des MIB récoltés.

Le présent document est réparti en trois chapitres. Le premier est une revue de la littérature, le deuxième décrit la méthodologie utilisée. Le troisième et dernier chapitre présente les résultats et la discussion qui en découle. Ce document s'achève par une conclusion, des recommandations et quelques perspectives.

# **Chapitre I : REVUE DE LA LITTERATURE**

## **I.1 Généralités sur les sols volcaniques du Moungo**

### **I.1.1 Définitions de quelques termes**

Un volcan est une ouverture dans la croûte terrestre à travers laquelle la lave, les cendres volcaniques et les gaz s'échappent. C'est également une structure géologique qui résulte de la montée d'un magma puis de l'éruption de matériaux issus de ce magma, à la surface de la croûte terrestre ou d'un autre astre (Jacques-Marie Bardintzeff, 2004). Une éruption volcanique est un phénomène géologique caractérisé par l'émission, par un volcan, de laves ou tephres accompagnés de gaz volcaniques. Les éruptions volcaniques sont en partie causées par la pression des gaz dissous, un peu comme le gaz carbonique fait sauter le bouchon d'une bouteille de champagne. Un terrain volcanique est un terrain formé à la suite d'une éruption volcanique.

Le sol volcanique est le sol issu de la dégradation, de la décomposition des laves. Les roches volcaniques sont des roches magmatiques, résultant du refroidissement rapide d'une lave (un magma arrivé à la surface), d'où leurs autres noms de volcanites, roches extrusives, roches effusives ou roches éruptives (Jean-Louis Bourdier 2021).

#### **I.1.1.2. Géomorphologie du Moungo**

La géologie et la morphologie du Moungo sont assez complexes et la combinaison de ces deux facteurs permet de définir des régions naturelles assez bien caractérisées, qui forment le cadre de l'étude des sols.

Au sud, après la mangrove côtière, de Dibombari à Mbanga, s'étend une zone de plateaux et collines, dont l'altitude ne dépasse pas 70 m et qui sont souvent fortement découpés par le réseau hydrographique. Cette zone est essentiellement formée de roches sédimentaires allant du Crétacé au Quaternaire (du nord vers le sud) : ces formations, ou tout au moins celles qui affleurent sur les plus grandes surfaces, sont principalement formées de sables et de grès.

Toute la partie du département au nord de la ville de Mbanga est caractérisée par la présence de roches volcaniques de divers âges, qui remplissent un fossé d'effondrement dont la limite est assez nette entre Njombé et le Mont Nlonako (Geze, 1943). En accord avec Geze (1943), on peut distinguer une série volcanique ancienne (basalte et andésite), une série moyenne (roche volcanique acide : trachyte) et une série récente (basalte et lapillis).

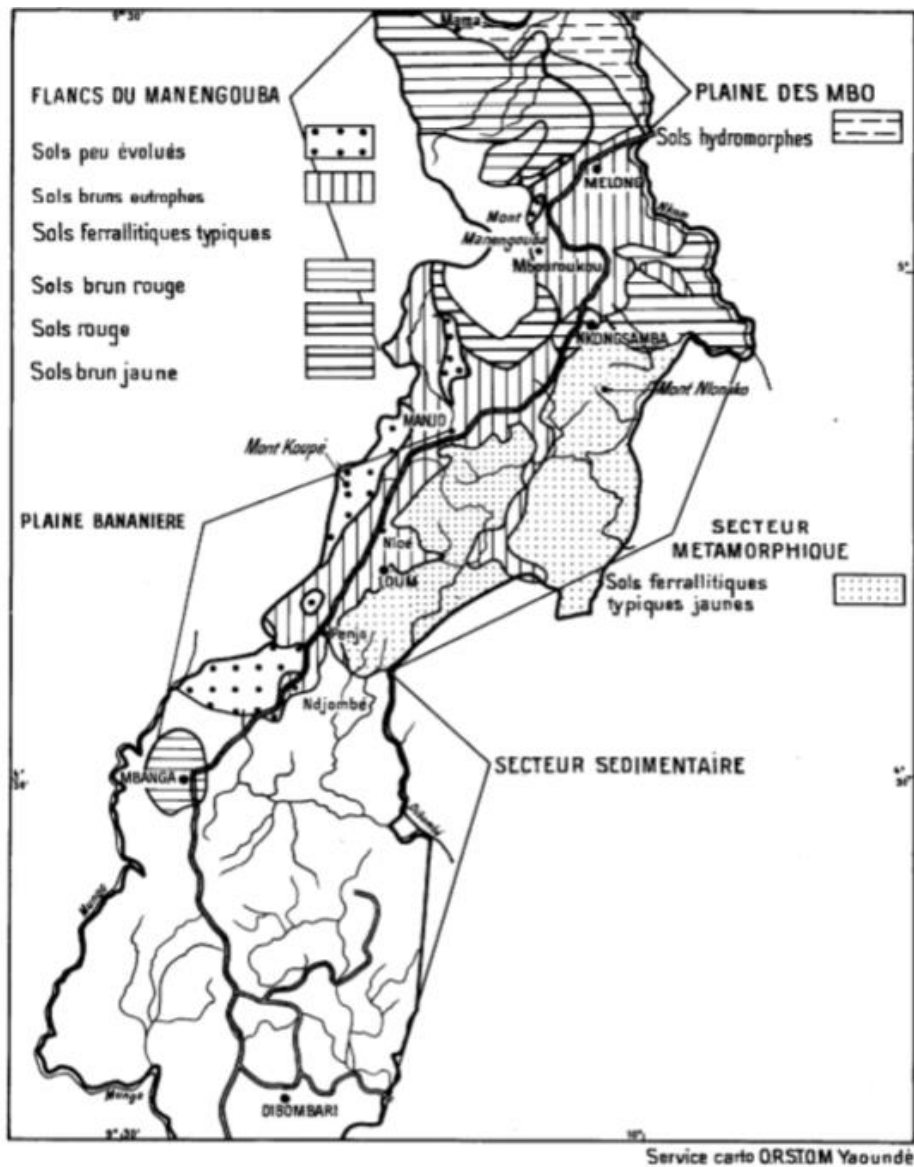
Au sud, les sols de la "Plaine bananière" entre Mbanga et Manjo sont formés exclusivement sur basalte et lapillis de la série récente. Les coulées volcaniques s'étagent en fait de 120 m (Mbanga) à 500 m (Mania), et toute cette zone a souvent un relief accidenté et est parsemée de nombreux cônes volcaniques.

A la hauteur de Nloé, le Mont Koupé (2050 m) introduit un relief important, et est caractérisé par la présence de ryénite et d'épanchements volcaniques récents. Toute la région qui s'étend de Manjo à Melong est sous l'influence du Massif du Manengouba (2 400 m) dont les sommets dominant Nkongsamba. D'après Geze (1943), ce massif est formé d'un soubassement de coulées basalto-andésitiques de la série ancienne, coulées qui se sont étendues jusqu'à 20-25 km des cratères. Il y a eu, ensuite, un épanchement de trachyte bien représenté au sud du massif. La série récente est représentée par quelques cônes et coulées volcaniques qui parsèment les flancs du massif. Au-dessus de 1300 m, se dresse le massif montagneux proprement dit, caractérisé par un brusque accroissement de la pente.

A l'est de toute la zone volcanique (Plaine bananière, Manengouba) et plus ou moins limitée par une faille, s'étend une région de relief souvent accusé, avec un réseau hydrographique orienté selon des directions privilégiées : le soubassement géologique est formé de roches granitiques et métamorphiques. Quelques taches de roches volcaniques récentes occupent les vallées. La dernière région naturelle, à la limite nord du département, et partagée avec les départements voisins, est constituée par la plaine des Mbo. Pour Bachelier (1952), cette dépression a dû se former dans le socle granito-gneissique à la faveur des failles et effondrements contemporains de l'activité volcanique. Une coulée volcanique venant du Mont Manengouba a donné naissance au "Lac des Mbo" qui s'est comblé peu à peu de sédiments argileux : un sondage de Mann (1912) traverse sur 20 m des argiles grises et bleues avec un petit passage bitumineux.

### **I.1.1.3 Pédologie du Moungo**

La mise au point sur les sols du Moungo a permis d'aborder l'étude d'un certain nombre de types de sols dont les plus intéressants et les mieux connus sont formés à partir de matériaux volcaniques. Les sols formés sur roches volcaniques se répartissent ainsi en trois sous-classes : sols peu évolués non climatiques, sols à mull des pays chauds (sols bruns eutrophes) et sols ferrallitiques ; cependant le climat imprime à tous ces sols une nette tendance vers la ferrallitisation. Mis à part les sols hydromorphes de la plaine des Mbo, ce sont des sols ferrallitiques caractérisés par un fort lessivage en bases (Figure 1).



**Figure 1: Carte pédologique du Moundou (service carto Yaoundé, 2019)**

#### **I.1.1.4 Origine des roches volcaniques**

Dans certains endroits dans les profondeurs de l'écorse terrestre, les roches ont fondu et se sont transformées en magma, qui est un mélange de cristaux et de roches liquides. Quand le magma fait surface en jaillissant d'un volcan, on l'appelle lave. Lorsqu'elle refroidit et durcit sur la surface terrestre, elle devient une roche ignée volcanique. Toutefois, lorsque le magma refroidit et durcit sous la terre, il devient une roche ignée plutonique.

Les noms des roches volcaniques sont d'origines variées. Outre ceux d'origine locale ou historique, les différents types de descriptions morphologiques, par exemple aux diverses échelles spatiales (unité géologique, affleurement, échantillons, grain, microscopie ; et les notions de texture, structure, architecture), d'études relatives à différentes propriétés physico-

mécaniques (cohésion et compétence...), et de caractérisation relatifs aux divers composants, notamment chimiques ou minéralogiques, ont amené une profusion de dénominations qu'il convient de toujours bien considérer dans leur contexte de définition. En tant que roche au sens pétrologique, leur dénomination est liée à la classification de Streckeisen, le plus couramment utilisé pour parler de ces matériaux. Le volcanisme n'est pas une exclusivité de la planète terre. On trouve parmi les météorites différenciées, des roches manifestement volcaniques, tout à fait analogues d'équivalents terrestres, comme des basaltes (Streckeisen, 1974).

### **I.1.1.5 Types de roches volcaniques**

Les roches volcaniques sont rarement orientées, elles peuvent être aussi constituées de fragments soudés (brèches). Il existe plusieurs types de roches volcaniques : les rhyolites, le basalte, les trachytes, les rhyodacites, les phonolites et l'andésite. Le basalte est la roche volcanique la plus abondante, elle représente 80% des laves émises (Streckeisen, 1974).

Le basalte est une roche volcanique de teinte sombre, issue de la cristallisation d'une lave chaude et très fluide. Les principaux minéraux sont les pyroxènes, l'olivine et le feldspath plagioclase (Streckeisen, 1974). Il est émis sous forme de coulées ou de scories. Le basalte est généralement de couleur rouge et noire. Le fer contenu dans les roches basaltiques de couleur rouge au contact de l'eau s'oxyde et donne des roches de couleur sombre.

## **I.2 Généralités sur les écosystèmes aquatiques**

Un écosystème aquatique est un ensemble complexe de relations entre les organismes vivants et leur milieu de vie. Contrairement au milieu aquatique marin, les milieux aquatiques dulcicoles se caractérisent par la présence d'eau avec un faible taux de salinité. Cette eau douce, susceptible d'être propre à la consommation ne représente que 3% de l'eau sur terre : glaciers (68,7% et eaux souterraines : 30,1%). Tout milieu aquatique est fondamentalement un écosystème, c'est-à-dire un système unitaire et fonctionnel parce qu'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 (lenticues), ou courantes (lotiques). Ces derniers procurent à l'homme de nombreux services et biens (Lemerle *et al.*, 2018).

Les écosystèmes lotiques sont des eaux superficielles en perpétuel mouvement. Ils représentent une infime partie des réserves en eau douce, avec un taux de renouvellement très élevé (Tachet *et al.*, 2010). Ces milieux sont caractérisés par des formes très diverses, allant du

ruisseau peu large, inférieur à 1m au grand fleuve de plusieurs kilomètres, avec une largeur supérieure à 25m (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 >1024mm) aux argiles (taille > 0,0039mm) (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 physico-chimiques d'une part et, d'autre part, en fonction de leur affinité avec les micro-habitats présents (Angelier, 2003 ; Moisan et Pelletier, 2008).

### **I.2.1 Activités anthropiques altérant les milieux lotiques**

La pollution des milieux aquatiques ne se réfère pas à la pureté des eaux, ni même à leurs aptitudes aux différents usages, mais plutôt aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines (Meyer *et al.*, 2005). Selon ces auteurs, un cours d'eau est considéré pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux est directement ou indirectement modifiée par l'action de l'Homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles. Outre l'agriculture, l'urbanisation constitue généralement le point de départ des différentes perturbations et altérations anthropiques de l'environnement (Tchakonté, 2016).

### **I.2.2 Fonctionnement écologique des milieux lotiques**

Les communautés vivantes sont organisées dans les hydrosystèmes fluviaux en fonction de l'évolution graduelle des facteurs abiotiques et biotiques notamment en fonction de l'origine et du type de matière organique comme décrit par la théorie du continuum fluvial ou River Continuum Concept (RCC) de Vannote *et al.*, (1980). Ce concept fait le lien entre d'une part «un gradient continu de facteurs physiques», essentiellement conditionnés par la morphologie et l'hydrologie (vitesse du courant, température de l'eau, couverture végétale) et d'autre part, la «dynamique» de la matière organique (apport, transport, stockage) ainsi que la structure et le fonctionnement des différentes communautés animales et végétales (Wasson, 1989). Le gradient longitudinal des conditions hydrologiques se caractérise par une diminution de la vitesse du courant vers l'aval, en liaison avec celle des pentes du bassin versant. Ainsi, les réseaux alimentaires des cours supérieurs, plutôt érosifs, sont caractérisés par la dominance des apports de matières végétales grossières des écosystèmes riverains, alors que les secteurs aval sont des zones de sédimentation dominées par des dépôts de matières organiques particulières.

Le concept du continuum fluvial ne prend pas en compte le fait que le cours d'eau peut être soumis à des apports d'origine anthropique, lesquels modifieront la composition chimique de ses eaux. Ces rapports d'origine allochtone sont la résultante des activités humaines sur le bassin versant (agriculture, déforestation, aménagements hydrauliques, urbanisation, industrialisation ...) (Xue *et al.*, 2000; Christensen *et al.*, 2001). Le concept de continuum fluvial fut donc complété par le *Nutrient Spiraling Concept* basé sur des états d'équilibres successifs, plus fortement influencés par les conditions locales que par les conditions de l'amont (Minshall *et al.*, 1983 ; Ward et Stanford, 1983 ; Pringle *et al.*, 1988).

Dans un cours d'eau, les éléments nutritifs (carbone, azote et phosphore) ne sont pas transportés de manière uniforme et continue. Les nutriments sont stockés dans la biomasse, recyclés et relargués de l'amont vers l'aval, en passant alternativement par des formes organiques et inorganiques (Minshall *et al.*, 1983). Toutefois, les liaisons avec les zones de rétention de la matière organique (bras morts, faciès lenticules) se forment, accroissent les temps de résidence des éléments nutritifs dans le cours d'eau et tendent à augmenter l'efficacité du système fluvial à produire la matière vivante.

En outre, chaque écosystème est le produit d'interactions complexes entre ses composantes biologiques et ses propriétés physico-chimiques. Aussi, selon les préférences ou les exigences vis-à-vis des différents facteurs physico-chimiques et biotiques de l'environnement, les organismes se regroupent en associations spécifiques (Turffery, 1980). Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau conditionnent donc celles des biocénoses aquatiques d'un point de vue structurel et fonctionnel (Voelz et Mc Arthur, 2000). Ainsi, les rejets liés aux activités humaines, en modifiant les caractéristiques chimiques des eaux, modifient également les communautés vivantes du milieu aquatique récepteur. La réponse des biocénoses se traduira par des modifications au niveau de leur dynamique de développement (Armengol *et al.*, 1991), de leur biomasse (Sabater et Sabater, 1992), de leur activité métabolique (Romani et Sabater, 1999) et leur biodiversité (Britain et Saltveit, 1989). Ces modifications sont des témoins des perturbations et sont à l'origine des outils de bioindication utilisés par des gestionnaires des milieux aquatiques.

### **I.3. Intégrité écologique des milieux lotiques**

#### **I.3.1. Notions de santé et d'intégrité des hydrosystèmes**

La notion de santé des écosystèmes part de l'évidence d'un dysfonctionnement de nombreux écosystèmes sous l'effet des activités humaines. Cette notion est souvent associée à celle d'intégrité. Il importe toutefois de distinguer ces deux notions. Un écosystème en bonne

santé est un système capable de maintenir son organisation et son autonomie fonctionnelle dans le temps. Il assure le recyclage de l'énergie et des nutriments. Il maintient ses fonctions essentielles de production, de consommation et de décomposition. Il s'adapte aux effets à long terme des perturbations naturelles. Il est capable de «s'auto-renouveler» et, malgré les stress de conserver sa résilience, sa diversité et sa productivité (Ghislain de Marsily, 2006). La notion d'intégrité écologique peut se définir comme la capacité d'un milieu à abriter et à maintenir une communauté équilibrée et adaptée d'organismes, ayant une composition spécifique, une diversité et une organisation fonctionnelle comparables à celles d'habitats naturels de la région ou du moins des habitats les moins perturbés (Levêque et Mounolou, 2008).

### **I.3.2. Importance du maintien de l'intégrité écologique des hydrosystèmes lotiques**

Les écosystèmes aquatiques représentent un capital nature, source de bénéfices pour la société. Ils sont susceptibles de rendre des services dont l'évaluation est difficile car ils ne sont pas pris en compte dans les analyses économiques classiques (Ghislain de Marsily, 2006). En effet, les cours d'eau en plus de leur rôle central dans le maintien de la biodiversité, procurent à l'Homme bon nombre de services et de biens, comme l'alimentation en eau potable, la production d'énergie industrielle, l'extraction de granulats, l'irrigation agricole, l'évacuation des eaux usées et des crues. Les cours d'eau servent aussi de voies de communication et de transport et sont exploités pour des besoins à vocation récréative. Leurs ressources halieutiques contribuent à nourrir les populations (Holmlund et Hammer, 1999).

### **I.4. Pollution des cours d'eau**

La pollution se définit comme une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine au travers des effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu et de l'abondance d'espèces vivantes (Ramade, 2002). Les notions de pollution ou nuisance et de qualité ne s'entendent qu'au regard d'un usage potentiel du milieu (Gaujous, 1995). En effet, Genin *et al.*, (1997) donnent comme exemple la forte production primaire d'un plan d'eau qui est une nuisance pour le traiteur d'eau, mais un avantage pour le pisciculteur. De même, en ce qui concerne la réglementation, les objectifs de qualité ne sont pas du même ordre pour la production d'eau potable ou pour la pratique des sports nautiques.

#### **I.4.1 Principales sources de pollution des hydrosystèmes lotiques**

Dans la plupart des cas, les activités humaines sont les principales sources de pollution. Selon Dejoux (1988), dans les milieux anthropisés, la pollution se présente aujourd'hui comme

l'une des conséquences les plus insidieuses de la civilisation moderne et industrielle. Ramade (2007) distingue trois principales sources de pollution :

- ✓ Les activités agricoles ;
- ✓ Les industries chimiques et métallurgiques ;
- ✓ La production d'énergie.

#### **I.4.2. Différents types de pollution**

Dans leur majorité, les substances polluantes, qu'elles soient gazeuses, liquides ou solides, sont susceptibles de contaminer l'hydrosphère. Ramade (2005, 2007) distingue trois principales catégories parmi divers polluants de l'eau : il s'agit de la pollution physique, biologique et chimique.

- **Pollution physique**

La pollution physique des eaux continentales est principalement due à la présence de matières solides insolubles dans l'eau (particules de charbon, terre, sable, limon). Il peut s'agir des matériaux provenant de l'érosion des sols due à la déforestation, à l'agriculture ou à l'exploitation des carrières (Ramade, 2005). La pollution physique des eaux concernent également le rejet de chaleur dans l'environnement aquatique. Ce type de pollution appelée par certains biologistes «caleafaction», provient principalement des centrales électriques et nucléaires (Ramade, 2005). Elle est susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénétiques car modifie la température de l'eau qui est un facteur écologique primordial dans les écosystèmes aquatiques.

- **Pollution biologique**

Elle se traduit par la présence dans l'eau de nombreux agents pathogènes tels que les protozoaires, les bactéries, les champignons et les virus. La grande majorité de ces microorganismes diffusent dans l'environnement aquatique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales et pose dans de nombreux pays de redoutables problèmes d'hygiène et de santé publique (Ramade, 2005). Ces microorganismes rendent l'eau impropre à la consommation humaine et la mise en évidence de cette contamination fécale est à la base de l'analyse bactériologique de l'eau d'alimentation.

- **La pollution chimique**

Elle résulte de la libération dans l'eau de divers métaux toxiques, de substances inorganiques, de sels minéraux utilisés en agriculture comme fertilisant et de divers composés chimiques rejetés par les industries (Ramade, 2005). La pollution chimique peut également se manifester par la présence dans l'eau de matières organiques fermentescibles telles que les glucides, les lipides et les protides (Ramade, 2005). Cette matière organique provient

principalement des industries agroalimentaires (abattoirs, laiteries, sucreries, fromageries) et l'industrie du papier qui rejettent des lessives riches en glucides hautement fermentescibles.

### **I.4.3. Eutrophisation: une pollution nutritionnelle des eaux**

L'eutrophisation est un phénomène d'enrichissement des eaux continentales ou littorales en sels minéraux nutritifs (phosphates, nitrates, ...) résultant de phénomènes naturels (Ramade, 1993). Ce phénomène se caractérise par une intense prolifération d'algues et un développement rapide de plantes supérieures aquatiques aboutissant à terme à une désoxygénation des couches profondes des eaux (Ramade, 2002). En effet, l'augmentation des éléments nutritifs et le développement d'une importante biomasse phytoplanctonique entraînent l'augmentation de la turbidité des eaux qui limite la pénétration de la lumière dans le plan d'eau. L'activité photosynthétique s'accélère donc en surface engendrant une importante sursaturation en oxygène des couches superficielles. A l'opposé, les couches profondes riches en matière organique subissent une désoxygénation suite à une forte activité de dégradation due au bactérioplancton (Zébazé Togouet, 2008).

Les activités anthropiques ont pour conséquence d'amplifier largement ce phénomène qui apparaît désormais à l'échelle de temps humain (Othniel, 2006). Les apports en sels nutritifs sont dûs principalement à des rejets directs d'effluents (domestiques, industriels et agricoles), à l'écoulement des eaux de ruissellement riches en éléments minéraux après leur passage dans les parties émergées du bassin versant et dans une moindre mesure, aux retombées atmosphériques.

La manifestation la plus visible de ce type de pollution est l'eutrophisation des plans d'eau, qui se traduit par l'apparition d'efflorescences de cyanobactéries, une diminution de la biodiversité, une modification des peuplements animaux et une dégradation de la qualité de l'eau (Zébazé Togouet, 2008). Ces efflorescences sont souvent à l'origine de déséquilibres écologiques mais aussi d'intoxications dans le cas de libération de toxines (Chorus et Bartram, 1999). Elles représentent un problème croissant pour les activités économiques liées au milieu aquatique (tourisme, pisciculture, aquaculture,...), mais surtout pour la distribution d'eau potable et plus généralement pour la santé humaine (Falconer, 2001).

### **I.5. Méthodes d'évaluation de la pollution des cours d'eau**

Le suivi des milieux aquatiques a longtemps été exclusivement orienté sur les prises de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau et sur la caractérisation de leurs différentes menaces. Or la surveillance physico-chimique mesure les agents stressants, c'est à dire, la contamination environnementale. Au vu de la diversité des milieux lotiques et la variété des composantes qui leur sont propres, la réalisation d'une méthode de suivi de l'intégrité

écologique se base de plus en plus sur une méthodologie d'évaluation qui permet de déterminer les différentes variables (environnementales et biologiques) qui seront aptes à estimer l'état général des écosystèmes ciblés (Chouinard, 2010).

### **I.5.1 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux par les sédiments**

Un milieu lotique est caractérisé par un écoulement des eaux, ce qui est à l'origine du transport des matériaux granulaires et particulaires qui proviennent des processus érosifs du bassin versant, du lit, ou encore des berges du cours d'eau (Amoros et Petts, 1993). Il transporte également divers matériaux solides non minéraux (troncs d'arbres, etc...). Une masse sédimentaire est constituée par une population de grains de différentes tailles et d'origine géologique variée qui vont réagir différemment au regard des écoulements, une précision étant faite entre les sédiments homométriques et les sédiments hétérométriques (Rodriguez, 2011). Ainsi, plusieurs paramètres caractérisent un sédiment : la taille, la forme, la densité, la porosité (volume des interstices), la cohésion, la composition minérale, la conductivité hydraulique (capacité des sédiments à laisser transiter les flux d'eau). La caractérisation granulométrique des sédiments basée sur le tri des grains est la méthode la plus simple. Le tableau I présente les différentes classes granulométriques proposé par Wentworth (1922) et modifié par Malavoi *et al.*, (2011). Les sédiments présentent également une variabilité granulométrique longitudinale. En effet, selon Wasson *et al.*, (2002), plus on s'éloigne des zones de montagne ou des têtes de bassin, plus le diamètre des éléments diminue et plus leur tri granulométrique augmente. Cette classification granulométrique est contrôlée par la variation de la capacité de transport du cours d'eau de l'amont vers l'aval, les apports sédimentaires des tributaires, et l'érosion des berges. La « qualité » du sédiment est également un facteur déterminant pour l'épanouissement de la faune benthique et le déroulement des processus biologiques auxquels elle participe (dégradation de la matière organique et cycles biogéochimiques associés). Elle peut être exprimée en termes de porosité et/ou de conductivité hydraulique (Gayraud et Philippe, 2003). Selon Malavoi et Souchon (2002), les sédiments grossiers correspondent aux fractions granulométriques allant des sables moyens aux blocs. La notion de sédiments grossiers peut être reliée à celle de substrat grossier. Gayraud *et al.*, (2003) distinguent les substrats fins relativement fluides, en raison d'une forte teneur en eau, des substrats grossiers plus rigides.

#### **I.5.1.1 Importance des sédiments dans le fonctionnement des écosystèmes lotiques**

Les sédiments, mis à part leur rôle de mémoire des hydrosystèmes lenticques et lotiques, participent aux processus d'autoépuration et au maintien de l'équilibre géomorphologique du cours d'eau, ainsi qu'à la diversification des habitats (Malavoi *et al.*, 2011). Les classes granulométriques grossières sont considérées comme primordiales pour les biocénoses

aquatiques ainsi que pour le maintien de la géodynamique d'un cours d'eau. En effet, le transport des sédiments grossiers joue un rôle essentiel dans la fonctionnalité hydromorphologique du cours d'eau, ainsi que dans le maintien des communautés biologiques (Braud et Alber, 2012). En ce qui concerne la fraction granulométrique fine, une présence excessive de sédiments fins dans un cours d'eau peut être interprétée comme un dysfonctionnement sédimentaire de ce dernier. Ils sont souvent définis comme des particules organiques ou inorganiques de moins de deux millimètres de diamètre, c'est-à-dire les sables (2000 à 62 µm), limons (62 à 4 µm) et argiles (< 4 µm) (Armitage et Wood, 1997) et sont une composante naturelle et intégrante des écosystèmes aquatiques (Tableau I). Dans les écosystèmes naturels, la concentration des sédiments fins en suspension et les taux de sédimentation sont temporellement variables en fonction des variations saisonnières du débit et spatialement variables en fonction des caractéristiques du bassin versant (Logan, 2004).

**Tableau I:** Echelle granulométrique utilisée (Wentworth, 1922) et gabarit pour l'évaluation granulométrique visuelle modifiée par Malavoi et Souchon (2002).

Types granulométriques	Classes de taille des sédiments (en mm)	Codes microhabitats
Rochers ou dalles	1024	R ou D
Bloc	256-1024	B
Pierres grossières	128-256	PG
Pierres fines	64-128	PF
Cailloux grossiers	32-64	CG
Cailloux fins	16-32	CF
Gravier grossier	8-16	GG
Gravier fin	2-8	GF
Sable grossier	0,5-2	SG
Sable fin	0,0625-0,5	SF
Limon	0,0039-0,0625	L
Argile	0,0039	A

### **I.5.1.2 Impact des sédiments sur les invertébrés benthiques**

Les invertébrés benthiques sont des organismes qui se déplacent peu, réalisant dans la plupart du temps tout leur cycle de développement sur un biotope restreint (Tachet *et al.*, 2010). Ainsi, pour les invertébrés benthiques, l'excès de sédiments fins couplé à un taux de dépôt important peuvent provoquer des dommages par abrasion notamment sur les branchies des animaux filtreurs, comme les bivalves (Culp *et al.*, 1986 ; Suren et Jowett, 2010). Les particules fines, en particulier des argiles et les limons, peuvent s'accumuler dans les organes des animaux, colmatant les branchies et les appareils d'alimentation par filtration, rendant ainsi la respiration et l'alimentation difficiles (Jones *et al.*, 2011). Les invertébrés peuvent également

être sujets à des problèmes d'enfouissement, et le problème survient lorsque le taux de sédimentation en particules fines est supérieur à la capacité des individus à creuser, ce qui est très dépendant de chaque taxon et de la granulométrie des matériaux déposés (Wood *et al.*, 2005). Le colmatage en surface ou interne entre les sédiments grossiers limite aussi les échanges verticaux et réduit l'oxygénation du substrat, ce qui provoque l'asphyxie des individus (Vanek, 1997). De plus, une importante concentration de sédiments fins peut aussi entraîner une réponse comportementale des invertébrés benthiques, qui se traduit par une augmentation du nombre d'animaux entraînant leur dérive (Jones *et al.*, 2011). Aussi, bon nombre d'auteurs s'accordent pour dire que les sédiments fins ont un impact sur la densité, l'abondance et la diversité taxonomique des invertébrés dans les cours d'eau (Harrison *et al.*, 2007 ; Jones *et al.*, 2011). Cette situation étant due au fait que les espèces d'invertébrés benthiques ont des exigences spécifiques vis-à-vis de l'habitat où ils vivent et ont tendance à éviter les patches qui ne satisfont pas à ces exigences (Sarriquet *et al.*, 2007 ; Jones *et al.*, 2011). De plus, le colmatage interstitiel par les sédiments fins peut augmenter la stabilisation des alluvions, ce qui réduit le flux de sédiments grossiers pendant les forts débits du cours d'eau et crée des zones de faible contrainte hydraulique. Ce comblement des interstices entre les éléments grossiers limite la mobilité des invertébrés entre les particules du substrat et diminue le nombre d'abris hydrauliques disponibles, ce qui influe sur leur distribution (McClelland et Brusven, 1980).

### **I.5.2 Surveillance de la qualité des eaux d'un cours d'eau**

Devant l'altération des écosystèmes aquatiques, la nécessité de parvenir à l'évaluation du statut des milieux d'eau douce et d'effectuer un suivi de leur condition est nécessaire (Chouinard, 2010). Les écosystèmes lotiques s'écoulent sur l'ensemble des continents, des montagnes jusqu'à la mer, constituant le reflet de l'aménagement du territoire et des activités qui se déroulent tout au long de leur cours. L'étude de ses systèmes peut donc permettre d'établir un diagnostic quant à la qualité de ces écosystèmes, mais également celle de l'ensemble du territoire qu'ils drainent (Karr et Chu, 1999). L'établissement de l'état de santé du milieu par un suivi environnemental rigoureux permet donc de détecter, d'évaluer et de compenser les impacts humains sur les écosystèmes aquatiques afin de parvenir au maintien des conditions qui leur sont propres et de la biodiversité qui leur est associée. L'évaluation de l'état de santé devient donc une démarche clé dans la conservation et la gestion des écosystèmes d'eau courante (Amis *et al.*, 2007) en ce sens qu'elle fournit aux gestionnaires des outils leur permettant de promouvoir des pratiques écologiquement acceptables.

### **I.5.3 Caractérisation physico-chimique**

La nature physico-chimique et les caractéristiques mésologiques (étude du milieu) des cours d'eau expliquent la présence ou l'absence de certaines espèces animales et conditionnent leur développement (Tufféry, 1980). Autrement dit, la diversité biologique et structurale des cours d'eau est étroitement liée à l'intégrité abiotique du milieu (Moisan et Pelletier, 2008). En effet, chaque organisme est sensible à différents facteurs abiotiques de son milieu de vie (température, pH, oxygène dissous, vitesse du courant, qualité du substrat, etc.) et présente en général, des seuils de tolérance minimum et maximum pour chacun de ces facteurs. L'écart entre ce minimum et ce maximum étant appelé valence écologique. Cette valence écologique représente la capacité d'adaptation de l'organisme à son biotope (Gaujous, 1993 ; Ramade, 2005). Ainsi, bon nombre de variables physico-chimiques sont prises en compte dans l'évaluation et le suivi de la qualité des cours d'eau.

#### **I.5.3.1 Variables physiques**

La température, les matières en suspension (MES), la turbidité et la couleur sont les principales variables physiques utilisées pour la caractérisation des milieux lotiques. La température est un facteur clé influençant la biologie et la distribution des espèces d'eau courante qui sont pour la plupart poïkilothermes (Giller et Malmqvist, 1999). 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). D'une façon générale, pour un milieu aquatique, la température des eaux superficielles est influencée par la température ambiante, et ceci d'autant plus que la profondeur est faible. Elle dépend de la latitude, de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit (Rodier *et al.*, 2009).

Pour chaque cours d'eau, les teneurs en MES varient avec le type de bassin versant, la nature des terrains traversés, la saison et les apports éventuels des effluents (Rodier *et al.*, 2009). Toutefois, une forte concentration de l'eau en MES présente des effets néfastes sur la faune aquatique ; elle peut constituer un facteur limitant pour l'installation et le développement de la faune benthique en provoquant sa mort suite au colmatage des organes respiratoires (Camacho, 1992).

La turbidité et la couleur augmentent avec les MES. Elles réduisent la quantité de lumière qui pénètre dans la colonne d'eau et par conséquent, diminuent la productivité des végétaux autotrophes phytoplanctoniques (Dajoz, 2000).

### I.5.3.2 Variables chimiques

Le pH est l'un des premiers indicateurs d'une altération chimique de la qualité des eaux car, il varie avec la nature géologique du lit et du bassin versant, celle des apports d'effluents industriels et domestiques, mais aussi avec l'activité biologique (Jullian *et al.*, 2005). Ses variations sont inversement proportionnelles à la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> dissous. Toutefois, la solution tampon déterminée par l'ensemble des réactions du système eau – carbonates insolubles – CO<sub>2</sub> dissous – bicarbonates solubles, constitue un milieu vital stable capable de maintenir un pH favorable au développement des organismes vivants (Angelier, 2003).

Quant à la conductivité électrique, elle est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous et sa mesure constitue une bonne indication du degré de minéralisation d'une eau. Elle varie en fonction de l'origine des eaux, la nature géologique du substrat, les confluences ou les afférences souterraines et la pollution du support aqueux (Camacho, 1992 ; Jullian *et al.*, 2005).

L'oxygène dissous est une variable chimique dont la teneur possède une signification propre relative à la qualité biologique du support aqueux (Rodier *et al.*, 2009). Les conditions d'équilibre écologique normales exigent un taux de saturation en oxygène de 75 %, la situation devenant critique en deçà de 50% (Foto Menbohan & Njiné, 1991). Rodier *et al.* (2009) soulignent que les variations de la teneur de l'eau en oxygène dissous sont inversement proportionnelles à celles des matières organiques fermentescibles, des hydrocarbures et des détergents, du nombre d'organismes et germes aérobies. Toutefois, une meilleure oxygénation de l'eau notamment à l'interface eau/sédiment est favorable à l'installation des communautés benthiques (Devidal *et al.*, 2007).

Dans les hydrosystèmes, l'azote se trouve sous forme d'azote organique, d'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), de nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ou associé à d'autres composés (CEAEQ, 2007). Toutefois, l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement de l'eau en cet élément par apport d'effluents urbains et industriels, rejet d'eaux usées domestiques, lessivage des sols agricoles fortement enrichis en engrais et en pesticides (Jullian *et al.*, 2005 ; Jain, 2012 ; Bhat *et al.*, 2013). D'après CEAEQ (2007). La teneur en ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est très élevée dans les eaux riches en matières organiques lorsque le pourcentage de saturation en oxygène est insuffisant pour assurer son oxydation en nitrates. De plus, une augmentation excessive de la température transforme l'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NH<sub>3</sub> qui est toxique pour de nombreux organismes (Kourradi, 2005). Quant aux nitrites, c'est la forme intermédiaire de l'azote qui ne se maintient dans les eaux courantes que lorsque le milieu est insuffisamment oxygéné. Leur rémanence indique un état de pollution organique (Foto Menbohan & Njiné, 1991). Les orthophosphates

ou « phosphore réactif » représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Une concentration élevée des eaux en cet élément est indicatrice d'une pollution par les eaux vannes et les effluents industriels contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques (INRA, 2005). Les fortes teneurs en orthophosphates entraînent généralement des blooms algaux avec pour conséquence une réduction de l'éclairement en profondeur, l'anoxie nocturne, les variations diurnes de pH et à long terme l'eutrophisation (Devidal *et al.*, 2007).

L'alcalinité d'une eau témoigne de la présence conjuguée d'hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ). Les variations de cette composante sont à rapprocher de celles des degrés de minéralisation des eaux et d'oxydation des composés organiques, mais aussi de la teneur en anhydride carbonique (Lévêque & Balian, 2005). Les eaux provenant des terrains calcaires et surtout des terrains gypseux présentent des duretés très élevées, tandis que celles qui s'écoulent sur les terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux affichent des duretés très faibles (Rodier *et al.*, 2009).

#### **I.5.4. Caractérisation biologique**

La surveillance biologique de l'état de santé des hydrosystèmes est essentielle pour une bonne appréciation de la qualité globale du milieu aquatique car elle intègre le fonctionnement de l'écosystème dans son ensemble (Fawsi *et al.*, 2001, Foto Menbohan *et al.*, 2006). Elle repose sur l'utilisation d'organismes bioindicateurs qui sont un groupe d'organismes qui, par référence aux variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques, permettent de façon pratique, de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence les modifications, naturelles ou provoquées, de ce dernier (Blandin, 1986).

##### **I.5.4.1. Groupes biologiques régulièrement utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux**

La diversité biologique joue un rôle essentiel dans le bilan de santé des écosystèmes, car elle est le reflet perceptible par les hommes, des conséquences de modifications physiques, chimiques et biologiques apportées au fonctionnement des écosystèmes (Lévêque et Mounolo, 2008). Macneil *et al.*, (2002) soulignent à cet effet que l'utilisation de certains organismes aquatiques (diatomées, invertébrés benthiques, zooplancton, mousse aquatiques, phytoplancton et poissons) comme indicateurs est plus appropriée. Dans ce travail, les macroinvertébrés benthiques ont été utilisés.

#### **I.5.4.2 Macroinvertébrés benthiques**

Parmi les organismes biologiques, le choix des macroinvertébrés pour la bioindication se justifie en raison de leur sédentarité, leur cycle de vie varié, leur grande diversité taxonomique et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat. La structure de la communauté de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Hellowell, 1986, Barbour *et al.*, 1999; WFD, 2003).

L'utilisation des macroinvertébrés dans l'évaluation de la qualité de l'eau présente de nombreux avantages. Elle prend en compte d'une part, la rémanence des organismes, c'est-à-dire leur capacité à témoigner d'une pollution plus ou moins ancienne et, d'autre part, les conditions de pollutions toxiques intermittentes et organiques modérées (Friedrich *et al.*, 1992). Elle est capable de détecter les changements les plus subtils tout comme les sources de pollution diffuse (Barbour *et al.*, 1999).

Ils sont essentiels pour la transformation de la matière organique en ce sens qu'ils assurent le recyclage d'une bonne partie de la matière végétale et/ou animale se trouvant dans les hydrosystèmes (Olivier *et al.*, 2004; Lecerf, 2005; Monoury, 2013). Ils filtrent les particules organiques contenues dans l'eau et broutent la végétation algale. Ils forment d'autre part, un maillon essentiel de la chaîne alimentaire et servent par exemple de nourriture à de nombreuses espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Moisan, 2010). Ils interviennent également dans le cycle biologique de certains parasites, en leur servant d'hôtes intermédiaires et/ou définitifs. Les macroinvertébrés sont cependant des organismes qui contribuent fortement à la biodiversité des cours d'eau, différentes espèces s'étant adaptées aux conditions écologiques les plus diverses. Certains taxa dits polluosensibles (larves d'Ephéméroptères, de Plécoptères et de Trichoptères) exigent ainsi des eaux de bonne qualité écologique, tandis que ceux dits pollutotolérants (Chironomidae, Tubificidae, Physidae) supportent très bien de fortes charges en matières organiques ou résistent aux polluants (Hilsenhoff, 1988; Bode *et al.*, 1996; Bode *et al.*, 2002). Certaines espèces affectionnent les zones de fort courant (espèces rhéophiles), tandis que celles dites limnophiles privilégient les eaux calmes. D'autres dites héliophiles préfèrent les zones bien éclairées (certaines larves d'Odonates), contrairement à celles dites sciaphiles (Ephéméroptères, Plécoptères, Planaires) qui trouvent refuge sous les pierres, rochers, herbier, feuilles mortes, ou dans les crevasses (Dajoz, 2000 ; Tachet *et al.*, 2010). D'autres encore sont généralistes (eurytopes) et s'adaptent à différents types de milieux. L'occupation d'une niche dépend donc du métabolisme de base des organismes, des conditions environnementales et des exigences spécifiques des différents taxons (Schuwirth et Reichert, 2012). Ainsi, il apparaît que

la présence ou l'absence d'une espèce donnée dans un milieu donné dépend de la combinaison d'une multitude de facteurs (Biram à Ngon, 2019).

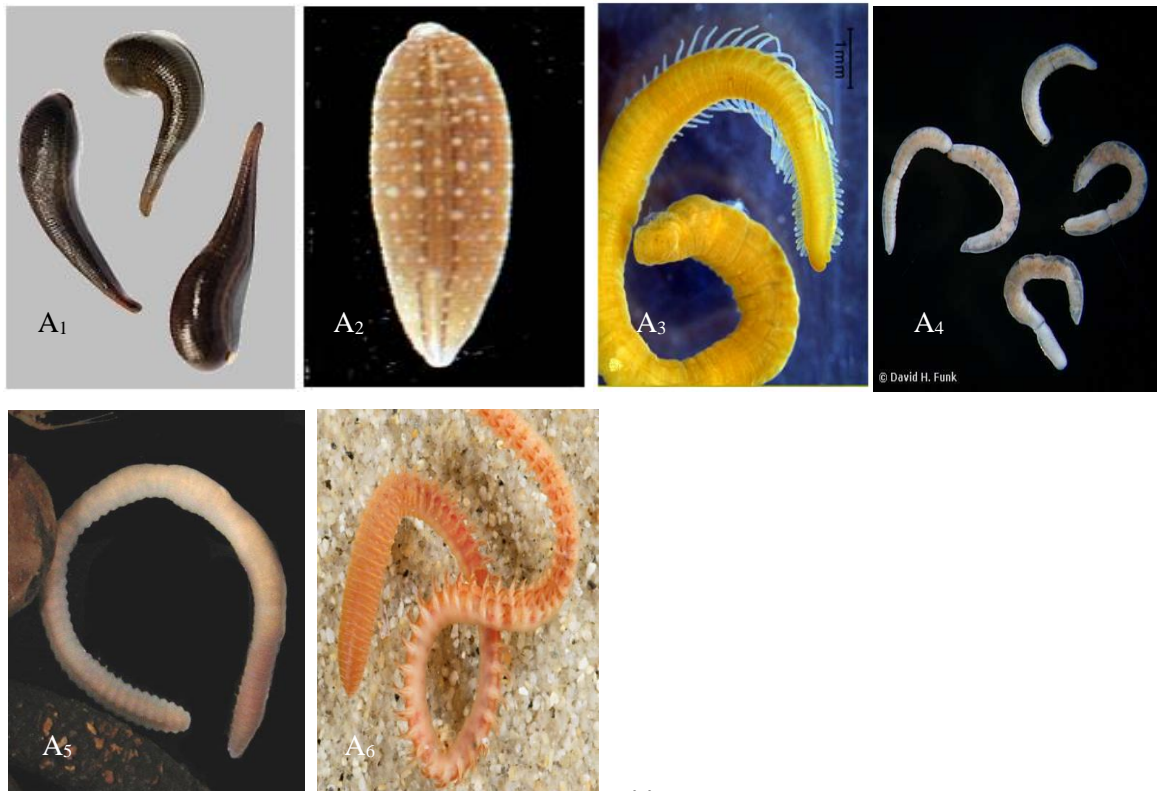
De par leur caractère sédentaire, ils réagissent aux perturbations soit en mourant, soit en résistant ; ils intègrent ainsi les effets cumulatifs et synergiques à court terme des multiples perturbations physiques, chimiques et biologiques du cours d'eau (Colas *et al.*, 2014). Les macroinvertébrés fournissent des informations très importantes puisqu'ils ont la capacité d'intégrer des données sur l'exposition à un polluant, c'est-à-dire sur son type, sur sa quantité, sa disponibilité dans le milieu et sur ses effets, peu importe leur nature (Basu *et al.*, 2007). De plus, ils ont une écologie assez bien connue, sont abondants dans la plupart des rivières, sont faciles à récolter et leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur la biocénose restante (Barbour *et al.*, 1999). Par ailleurs, Moisan & Pelletier (2008) soulignent que le suivi des macroinvertébrés benthiques est utile pour évaluer l'état de santé d'un cours d'eau, suivre son évolution temporelle, estimer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau), apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique. La protection et la restauration des milieux aquatiques sont essentielles au maintien des activités humaines et aux processus écologiques qui y soutiennent la vie (Tchakonté, 2017).

#### **I.5.4.3. Diversité biologique**

Dans les eaux continentales, les macroinvertébrés benthiques sont constitués de divers groupes d'organismes ayant un caractère ubiquitaire. Il s'agit principalement des Annélides, des Mollusques, des Crustacés et des Insectes (Monique, 1987 ; Tachet *et al.*, 2010).

##### **I.5.4.3.1. Annélides**

Les Annélides sont des Métazoaires Triploblastiques Coelomates, Protostomiens, Hyponeuriens à symétrie bilatérale et dont le corps métamérisé comprend trois régions : le prostomium, le soma et le pygidium (Tachet *et al.*, 2010 ; Martin & Aït Boughrou, 2012). Selon Beaumont & Cassier (1998), cet embranchement est divisé en trois classes : les Polychètes, les Oligochètes et les Achètes ou Hirudinées (Figure 2), et seules les deux dernières sont représentées en eau douce (Monique, 1987). Tous deux hermaphrodites et dépourvus de parapodes, les Oligochètes diffèrent des Achètes par l'absence de ventouses et la présence de soies capillaires sur le corps ; les Achètes sont dépourvus de soies et caractérisés par la présence d'une ventouse antérieure buccale et d'une ventouse postérieure.

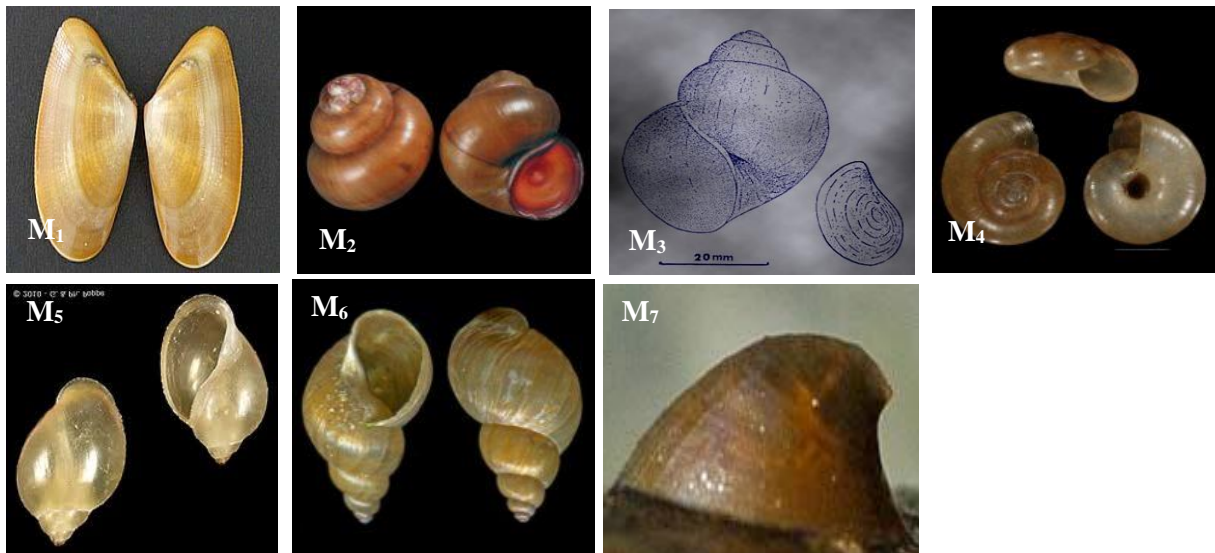


**Figure 2** : Photos de quelques Annélides d'eau douce. Achètes (A<sub>1</sub> = Hirudidae ; A<sub>2</sub>= Glossiphoniidae); Oligochètes (A<sub>3</sub>= Tubificidae ; A<sub>4</sub>= Naididae ; A<sub>5</sub>= Lumbriculidae) Polychètes (A<sub>6</sub>= Sabellidae)

#### I.5.4.3.2. Mollusques

Ce sont des Métazoaires triploblastiques coelomates, protostomiens, hyponeuriens, à symétrie bilatérale, à corps mou, massif, non métamérisé, sans squelette interne et dépourvus d'appendices articulés (Mouthon, 1980). Leur corps se compose d'une tête qui porte la bouche et les principaux organes sensoriels, d'une masse viscérale dorsale constituée de l'essentiel des organes internes, et d'un pied qui représente l'organe locomoteur (Beaumont et Cassier, 2000). Les Mollusques dulçaquicoles peuvent être divisés en deux classes selon que la coquille est formée de deux valves articulées (Bivalves ou Lamellibranches) ou d'une seule pièce (Gastéropodes) (Lioris & Rhcababo, 1984). Chez les Bivalves, la symétrie bilatérale primitive est conservée, contrairement aux Gastéropodes qui se distinguent par la disparition de la symétrie bilatérale au profit d'un enroulement hélicoïdal de la masse viscérale (Lecointre & Guyader, 2001). Les Bivalves sont caractérisés par une coquille composée de deux valves calcifiées articulées au niveau de la charnière par un ligament. L'ouverture et la fermeture des valves sont assurées par le jeu des muscles adducteurs. Les Bivalves sont soit gonochoriques, soit hermaphrodites selon les familles.

La classe des Gastéropodes se subdivise en deux sous-classes (Prosobranches et Pulmonés). Chez les Prosobranches, la coquille est toujours spiralée et fermée par un opercule calcaire ou corné lorsque l'animal se retire dans sa coquille. Cette dernière est généralement dextre, rarement senestre (Figure 3) et peut être conique ou plus ou moins aplatie. Chez les Pulmonés, il n'y a pas d'opercule, la coquille est soit en forme de « chapeau chinois », soit enroulée dans le plan, soit spiralée conique dextre ou senestre (Figure 3) (Tachet *et al.*, 2010). Chez tous les Gastéropodes d'eau douce, la reproduction est essentiellement sexuée, on note cependant quelques rares cas de parthénogénèse dans certains taxons ; les sexes sont généralement séparés chez les Prosobranches, contrairement aux Pulmonés chez qui il y a toujours hermaphrodisme (De Moor & Day, 2002).



**Figure 3** : Photos de quelques Mollusques d'eau douce. Bivalves (M<sub>1</sub>=Unionidae) ; Gastéropodes Prosobranches (M<sub>2</sub>= Viviparidae ; M<sub>3</sub>= ampullaridae) ; Gastéropodes Pulmonés (M<sub>4</sub>= Planorbidae; M<sub>5</sub>= Physidae; M<sub>6</sub>= Lymnaeidae ; M<sub>7</sub>= Ancyliidae)

#### I.5.4.3.3. Arthropodes

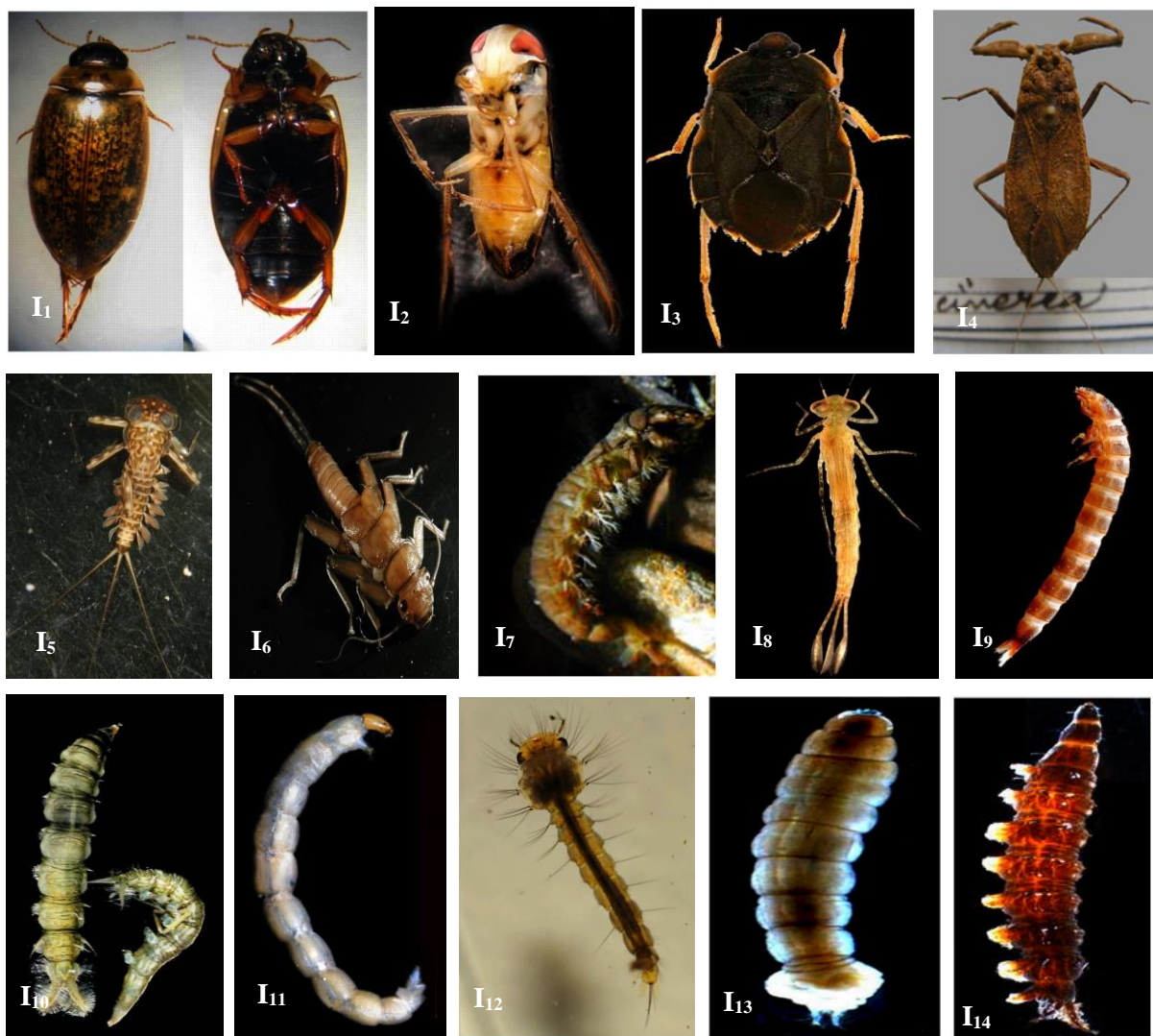
Ce sont des métazoaires triploblastiques, protostomiens, coelomates, hyponeuriens dont le corps, métamérisé, présente une symétrie bilatérale (Beaumont et Cassier, 2005). Ils présentent à leur surface un exosquelette riche en chitine, épais et rigide, montrant des zones d'articulation aux limites antérieure et postérieures de chaque métamère ainsi qu'entre les articles successifs des appendices (Beaumont et Casier, 2000). Ces métamères portent primitivement chacun, une paire d'appendices symétriques homotypes, adaptés à des fonctions multiples et s'ordonnent de manière à former des régions morphologiques distinctes. Leur

développement discontinu, entrecoupé de mues, comporte une succession de formes juvéniles ou larvaires et souvent des métamorphoses (Beaumont et Cassier, 2000).

L'embranchement des arthropodes est de loin celui qui possède le plus d'espèces et le plus d'individus de tout le règne animal c'est-à-dire 80% des espèces connues (Metcalf et Flint, 1939). On compte plus d'un million et demi d'espèces actuelles d'arthropodes qui présentent des modes de vie des plus variés. Gillot (2005) distingue cinq sous embranchements d'arthropodes ; il s'agit: des Chélicérates, des Myriapodes, des Crustacés, des Hexapodes et du sous embranchement fossile des Trilobitomorpes. Toutefois, la classification des arthropodes reste aujourd'hui très discutée (Gillot, 2005).

#### **I.5.4.3.3.1. Insectes**

Les Insectes sont des Arthropodes qui possèdent tous trois paires de pattes au stade adulte et chez certaines larves (Annexe 1). Il existe également des larves apodes. On note cependant chez ces dernières, la présence de fausses pattes (pseudopodes, pygopodes) ou de bourrelets locomoteurs au niveau du thorax et/ou de l'abdomen (Figure 4) (Tachet *et al.*, 2010). Leur corps est divisé en trois tagmes que sont : la tête, le thorax et l'abdomen. Les Insectes constituent la part importante (en terme de diversité) des macroinvertébrés avec onze ordres présents en eau douce (Merritt, 2008; Song *et al.*, 2009). Les larves de cinq de ces ordres sont exclusivement aquatiques (Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Mégaloptères). Certains Coléoptères et Hémiptères effectuent la totalité de leur cycle de vie en milieu aquatique (De Moor *et al.*, 2003; Tachet *et al.*, 2010). Selon Diomandé (2001), les Diptères d'eau douce représentent l'ordre le plus diversifié en familles et seules les larves sont aquatiques. Chez les Insectes, les sexes sont séparés, mais la reproduction peut se faire dans certains cas par parthénogenèse (Zahradnik & Chvala, 1991).

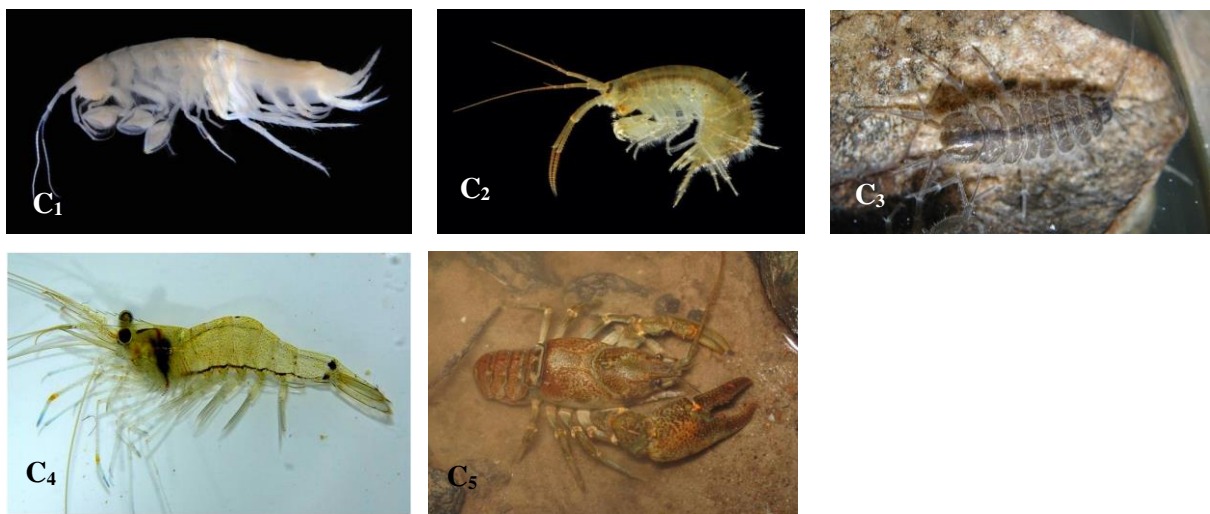


**Figure 4** : Photos de quelques Insectes d'eau douce Insectes adultes (I<sub>1</sub>= Coléoptères, Dytiscidae) ; Hémiptères ( I<sub>2</sub>= Corixidae ; I<sub>3</sub>= Aphelocheiridae ; I<sub>4</sub>= Népidae) ; Insectes larves hexapodes (I<sub>5</sub>= Ephéméroptères, Heptageniidae ; I<sub>6</sub>= Plécoptères, Perlidae ; I<sub>7</sub>= Trichoptères, Hydropsychidae ; I<sub>8</sub>= Odonates, Coenagrionidae ; I<sub>9</sub>= Coléoptères, Elmidae) ; Larves apodes de Diptères (I<sub>10</sub>= Athericidae ; I<sub>11</sub>= Chironomidae ; I<sub>12</sub>= Culicidae ; I<sub>13</sub>= Tipulidae ; I<sub>14</sub>= Athericidae)

#### I.5.4.3.2. Crustacés

Comme tous les Arthropodes, les Crustacés ont un squelette externe (exosquelette) et un corps composé de plusieurs segments portant chacun, fondamentalement, une paire d'appendices (Day *et al.*, 2001). Au cours de l'évolution, les segments et certaines parties du corps se sont spécialisés. Les appendices servent à la respiration, à la nage, à la reptation, à l'alimentation et à la reproduction. Certains appendices se sont fortement modifiés et sont devenus mâchoires, organes reproducteurs ou autres, quand ils n'ont pas régressé ou disparu (Tachet *et al.*, 2010). Chez les Crustacés, les sexes sont séparés et la reproduction est

généralement sexuée. On note cependant le phénomène de parthénogenèse chez certains taxa comme les Branchiopodes (Gasparini, 2004). Trois sous-classes de Crustacés sont représentées en eau douce. Il s'agit des Branchioure, des Branchiopodes et des Malacostracés. Dans la sous-classe des Malacostracés qui est la plus importante (en terme de diversité et de biomasse), le corps peut être divisé en trois tagmes : le céphalon qui est constitué de la fusion des cinq premiers somites portant chacun une paire d'appendices, le péréion qui a huit segments portant chacun, fondamentalement, une paire de péréiopodes, et le pléon constitué de six segments portant chacun une paire de pléopodes (Figure 5). Cette sous-classe est constituée de trois ordres qui sont : les Amphipodes, les Isopodes et les Décapodes.



**Figure 5** : Photos de quelques Crustacés d'eau douce. Crustacés Amphipodes (C<sub>1</sub>= Niphargidae ; C<sub>2</sub>= Gammaridae); Crustacés Isopodes (C<sub>3</sub>=Asellidae) ; Crustacés Décapodes (C<sub>4</sub>= crevette Palaemonidae ; C<sub>5</sub>= écrevisse Astacidae).

#### I.5.4.3.3. Ecologie et groupes trophiques

Sur le plan écologique, les macroinvertébrés benthiques jouent un rôle important dans les hydrosystèmes. Leur comportement alimentaire influence la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques de l'amont vers l'aval des cours d'eau (Wongsanoon *et al.*, 2014). Ainsi, la classification des macroinvertébrés selon leur mode d'alimentation a été adoptée par plusieurs auteurs (Vannote *et al.*, 1980 ; Cummins & Wilzbach, 1985 ; Tachet *et al.*, 2010). Vannote *et al.*, (1980) ont utilisé quatre modes trophiques pour l'application du concept du continuum fluvial. Il s'agit des prédateurs, des fragmenteurs, des racleurs-brouteurs et des collecteurs qui renferment les filtreurs et les détritivores. La classification de Cummins & Wilzbach (1985) et celle de Tachet *et al.*, (2010), permettent de définir six groupes fonctionnels alimentaires qui sont : les déchiqueteurs, les filtreurs, les détritivores, les brouteurs, les

prédateurs et les omnivores. C'est cette classification basée sur le mode d'alimentation des macroinvertébrés qui a été utilisée dans cette étude. Cette classification permet d'éviter les pertes d'informations liées au regroupement des filtreurs-détritivores proposé par Vannote *et al.*, (1980) alors que ces deux groupes ont des fonctions bien distinctes (Edia, 2008).

#### **I.5.4.4. Macroinvertébrés benthiques et qualité des eaux**

La structure des communautés de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée pour décrire les effets de l'activité humaine sur les écosystèmes d'eau courante, et pour fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat (Woodcock et Huryn, 2007). On peut les utiliser pour identifier plusieurs types de pollution, comme la pollution organique et métallique, de même que pour détecter une acidification du milieu (Camargo *et al.*, 2004). En exemple, il est déjà bien connu que les Plécoptères, les Trichoptères et les Éphéméroptères sont les groupes les plus sensibles aux polluants. Ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée. Au contraire, les Tubificidés, les Chironomidés et les Syrphidés sont les groupes les plus tolérants. Ils peuvent vivre dans une eau peu oxygénée avec une bonne quantité de polluants à une température plus élevée (Camargo *et al.*, 2004). Parmi les communautés biologiques, les macroinvertébrés benthiques sont les plus utilisés pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Barbour *et al.*, 1999). Cette préférence pour les macroinvertébrés benthiques est justifiée par les faits suivants :

- ils réagissent aux toxiques rapidement et différemment selon les espèces ;
- ils fournissent une réaction graduelle à des degrés d'agression différents (Berryman, 1990) ;
- ils sont présents partout, abondants et relativement faciles à identifier (Berryman, 1990) ;
- ils sont sédentaires et ainsi représentatifs des conditions locales (Barbour *et al.*, 1999) ;
- ils sont présents dans le milieu assez longtemps pour fournir une image représentative de la qualité de celui-ci, ils ont des cycles d'au moins plusieurs mois et en général d'un an (Barbour *et al.*, 1999) ;
- ils sont constitués d'un large éventail de niveaux trophiques et de tolérances à la pollution, fournissant une information solide pour l'interprétation des effets cumulatifs de l'exposition à la pollution (Barbour *et al.*, 1999) ;
- ils sont relativement faciles à échantillonner, ne requièrent pour leur échantillonnage ni matériel sophistiqué ni personnel important et leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour *et al.*, 1999).

## **Chapitre II : ZONE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES**

## **II.1. ZONE D'ETUDE**

### **II.1.1. Cadre géographique**

Nkongsamba est une localité urbaine du Cameroun appartenant au département du Moungo dans la région du Littoral et à 140Km en direction du Nord de la capitale économique du Cameroun Douala. Logé sur les flancs Ouest du mont Manengouba (2396m) et les pieds du mont Nlonako (1822 m) sur une altitude moyenne de 900 m au-dessus de la mer, la ville de Nkongsamba est une charnière de la plaine côtière du Sud et les hauts plateaux de l'Ouest. Elle se déploie géographiquement entre 4°54' et 5°10' de latitude Nord et 9°30' et 10°00' de longitude Est.

Le climat est de type équatorial à deux saisons: une longue saison de pluie allant de fin février à mi-novembre et une courte saison sèche de novembre à mi-mars. La pluviométrie est de l'ordre de 2350 mm de pluie par an avec un maximum de précipitation en août et septembre. La température oscille entre 16°C et 23°C avec des amplitudes thermiques variant de 3°C à 4°C. La proximité avec l'atlantique favorise l'humidité permanente du climat. Nkongsamba est traversée par de nombreux cours d'eau.

Le relief est composé d'une alternance de plaines et de Montagnes dont le mont Manengouba (2268 m), Nlonako (1800 m) et Koupé (2064 m) sont culminants et constitueraient d'anciens volcans éteints. Il s'étant ensuite une large plaine appelée la plaine des MBOS.

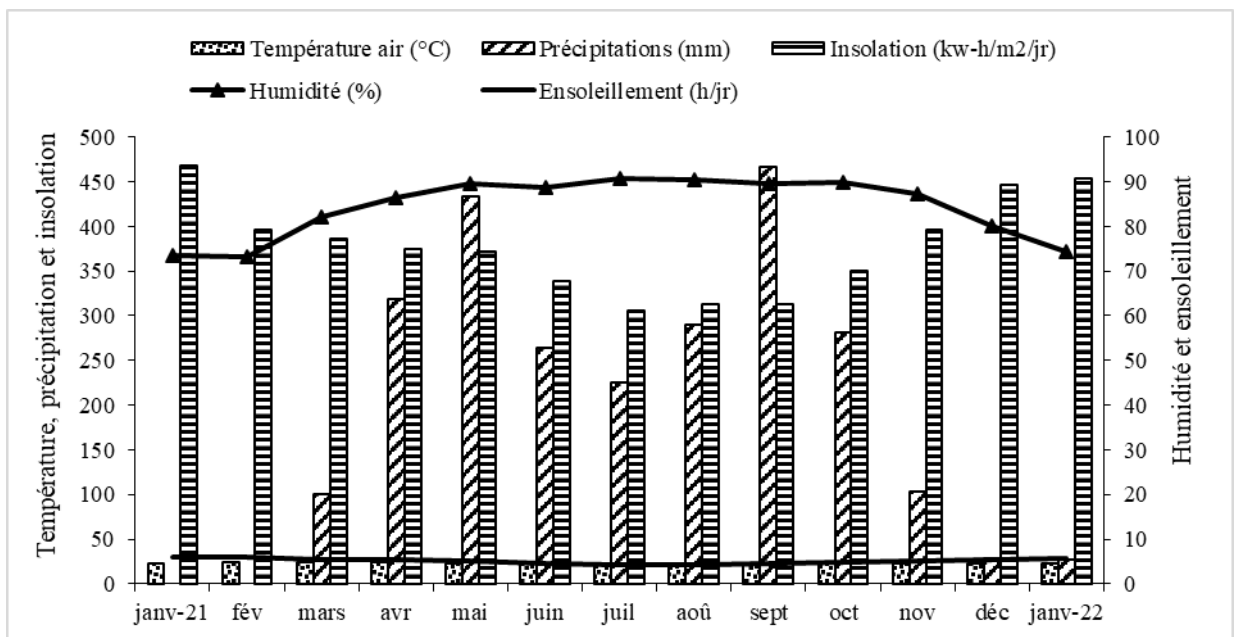
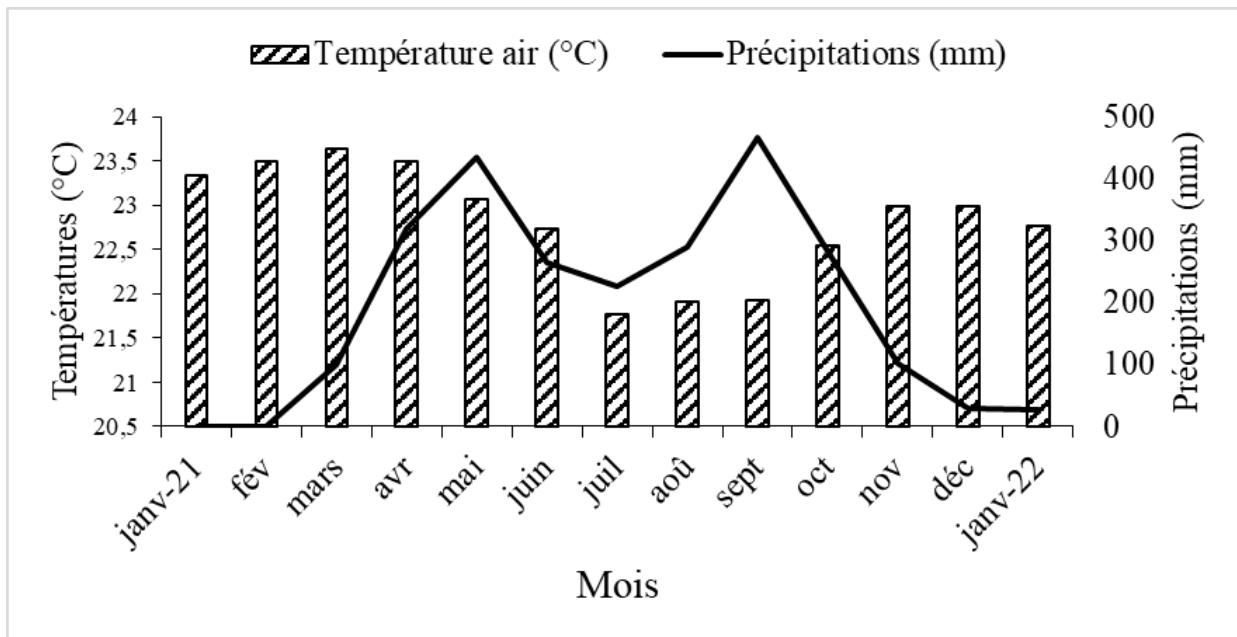
Sur le plan pédologique, trois types de sols sont observés : les sols volcaniques, les sols hydromorphes, de couleur dominante jaune à ocre-jaune et les sols ferralitiques, de couleur sombre (Segalen, 1958). Ils sont acides avec une texture sableuse en surface puis sablo-argileuse et parfois argilo-sableuse en profondeur (Segalen, 1958).

La forêt est de type secondaire et tertiaire, dominée par une savane herbacée et arbustive. On y pratique une agriculture intensive, faite de produits vivriers et maraîchers, mais également de cultures de rente telles que le caféier, le palmier à huile, et des arbres fruitiers.

### **II.1.2. Données météorologiques du département du Moungo pendant la période d'étude**

L'ensemble des données météorologiques ont été obtenues à partir de la base de données du service météorologique du Ministère Camerounais des Transports (Mintransport) et de la NASA (Surface Meteorology and Solar Energy) disponibles à l'adresse internet (<https://power.larc.nasa.gov/data.access.viewer/>) (Figure 6). Les précipitations exprimées en mm ont été mesurées à l'aide d'un pluviomètre. La température de l'air et l'humidité relative qui s'expriment respectivement en °C et en % ont été évaluées à l'aide d'un thermomètre à

colonne de mercure TESTO 925 et d'un hygromètre EXTECH M0210. L'insolation et la durée des rayonnements solaires exprimés en kw-h/m<sup>2</sup>/jr et en h/jr respectivement ont été obtenues à l'aide d'un pyranomètre automatique LP PYRA et d'un héliographe MEUDON respectivement.



**Figure 6 :** A- Diagramme ombrothermique et B- variation temporelle des précipitations, de l'insolation, de l'enseillement par jour, de l'humidité relative de l'air et de la température de l'air dans le Mounjo pendant la période d'étude (janvier 2021 à janvier 2022).

## II.2. MATÉRIEL

### Localisation des sites d'étude

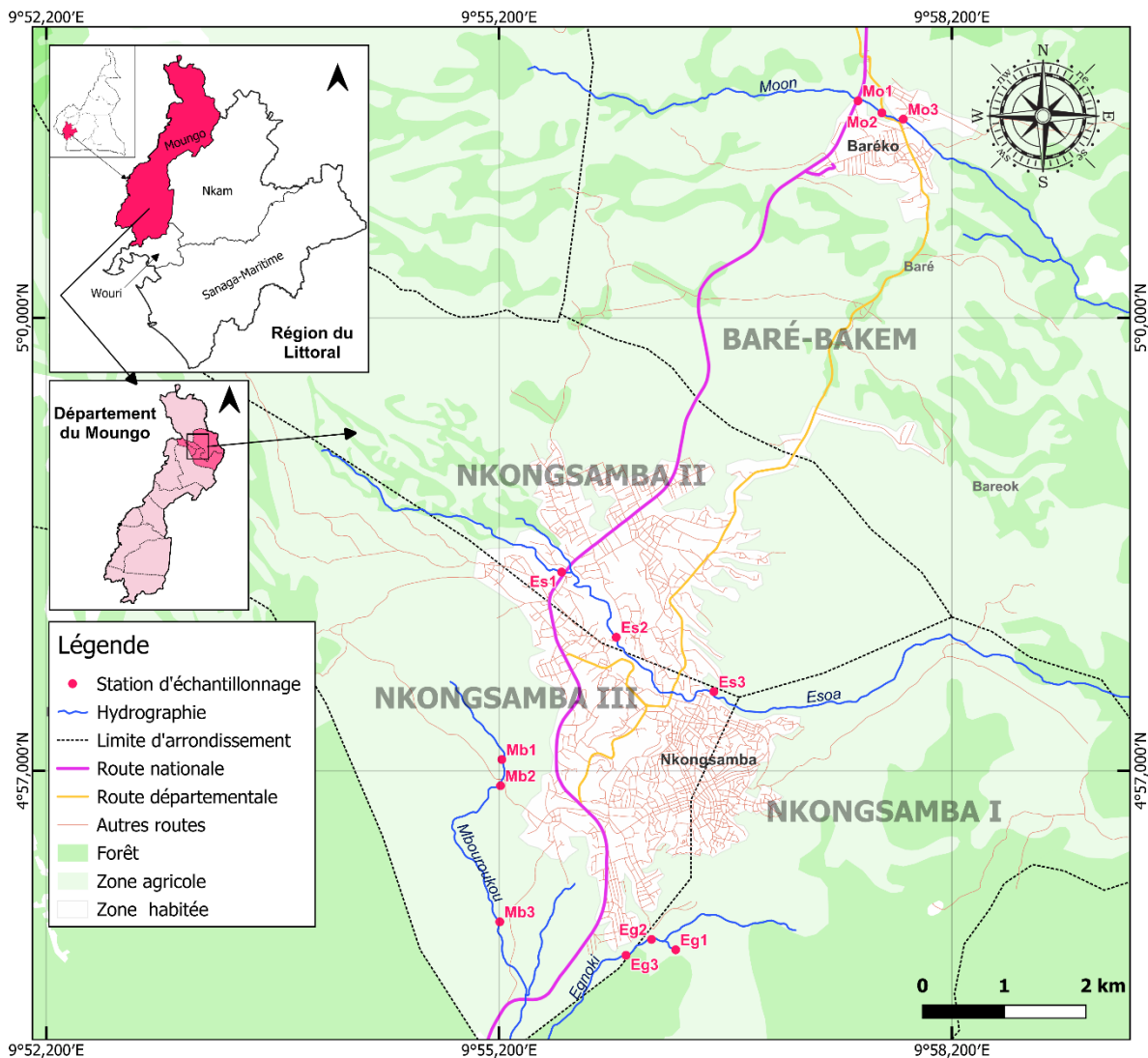
Quatre cours d'eau appartenant à 4 bassins versants ont été choisis en terrain volcanique constitué de roches basaltiques essentiellement. Il s'agit des cours d'eau Moon, Esoa, Egnoki et Mbouroukou (Tableau II).

Le tableau II présente la synoptique des codes des stations d'études, les coordonnées géographiques de chaque station, leur altitude par rapport à la mer ainsi que les principales activités humaines pratiquées autour des stations d'échantillonnage. Dans l'ensemble, l'activité principale pratiquée est l'agriculture, les cours d'eau étant situés entre 781m à 890 m d'altitude par rapport à la mer et 009°55'13.1" de latitude Nord et 04°57'04.5" de longitude Est.

**Tableau II:** Coordonnées géographiques et quelques caractéristiques des stations d'échantillonnage retenues dans les quatre cours d'eau.

Cours d'eau	Stations d'étude	Longitude (N)	Latitude (E)	Altitude (m)	Activités pratiquées
Moon	Mo1	009°57'34.7"	05°01'26.3"	877	Agriculture et lessive
	Mo2	009°57'44.2"	05°01'21.7"	875	
	Mo3	009°57'52.7"	05°01'19.0"	866	
Esoa	Es1	009°55'36.9"	04°58'19.0"	959	Agriculture et lessive
	Es2	009°55'56.8"	04°57'53.5"	889	
	Es3	009°56'37.4"	04°57'31.5"	803	
Egnoki	Eg1	009°56'20.1"	04°55'50.2"	803	Agriculture, extraction d'huile de palme, de sable, la pêche et la lessive
	Eg2	009°56'11.5"	04°55'53.6"	791	
	Eg3				
		009°56'05.7"	04°55'48.9"	781	
Mbouroukou	Mb1	009°55'13.1"	04°57'04.5"	890	Agriculture
	Mb2	009°55'12.3"	04°56'00.0"	884	
	Mb3	009°55'12.6"	04°56'54.1"	878	

Les stations ont été retenues en fonction de leur accessibilité, de leur représentativité et des sources de pollutions éventuelles (Figure 7).



**Figure 7 :** Carte présentant les stations d'échantillonnage (Moon, Esoa, Egnoki, Mbouroukou) dans le département du Moundou (INC 2021)

### II.2.1. Bassin Versant du Moon

D'une superficie d'environ 4 km<sup>2</sup>, le bassin versant du Moon s'étale sur l'arrondissement de Nkongsamba 3°. Il est limité au Nord par le quartier Nylon, au Sud par le quartier Baré Hock, à l'Est par le quartier Ange Raphael et à l'Ouest par le quartier Ndog. Les activités pratiquées portent essentiellement sur l'agriculture de subsistance utilisant quelquefois des intrants agricoles, la lessive et la production d'huile de palme. La pression démographique est forte et répartie dans les habitats spontanés. D'une longueur de 3km, le cours d'eau Moon prend sa source au quartier Nylon, s'écoule dans la direction Nord-ouest-Sud-Est et traverse successivement les quartiers Baré-Bakem, Baré-Hock. Sur le Moon, trois stations d'échantillonnage désignées par Mo1, Mo2 et Mo3 ont été retenues.

### II.2.1.1. Station Moon 1 (Mo1)

La station Mo1 a pour coordonnées géographiques 05°01'26.3"N et 009°57'34.7" E et se trouve à 877 m d'altitude. Elle est située après le carrefour 'Imo' à environ 200 m de la source. L'accessibilité à ce site est facilitée par des sentiers frayés par les populations riveraines. La végétation riveraine est plus dense avec comme espèce dominante *Panicum maximum*. La lessive, la vaisselle, la production d'huile de palme et l'agriculture sont les principales activités pratiquées. Le lit est recouvert de pierres issues de roches basaltiques et de vase (Figure 8A).

### II.2.1.2. Station Moon 2 (Mo2)

La station Mo2 est située à 875 m d'altitude et a pour coordonnées géographiques 05°01'21.7" N et 009°57'44.2" E, au lieu dit « Plage » à 700 m de la station Mo1. La végétation riveraine est faite de savane à *Panicum maximum* parsemée de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*). La lessive, l'agriculture et le lavage de motos et véhicules sont les principales activités pratiquées dans cette zone. Le lit est composé sable et roches basaltiques (Figure 8B).

### II.2.1.3. Station Moon 3 (Mo3)

La station Mo3 a pour coordonnées géographiques 05°01'19.0" N et 009°57'52.7" E, avec une altitude de 866 m et se trouve au niveau de la mairie de Baré à 900 m de la station Mo2. La végétation riveraine est herbacée avec comme espèce dominante *Tithonia diversifolia* communément appelée fleur jalousie. Elle est bordée d'habitations, les principales activités exécutées étant la vaisselle, la lessive et l'agriculture. Le lit est recouvert de sable, de vase et de roches basaltiques (Figure 8C).



**Figure 8 :** Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Moon pendant la période d'étude: A= station Mo1; B= station Mo2; C= station Mo3. (Photos Betsi, 2021)

## **II.2.2. Bassin Versant de l'Esoa**

D'une superficie de 6 km<sup>2</sup>, le bassin versant de l'Esoa est limité au Nord par le quartier Ekanté, au Sud par le quartier 6, à l'Est par le quartier Crtv et à l'Ouest par le quartier Barésoumtoum. Diverses activités dont la lessive, de l'agriculture intensive, la vaisselle, la baignade, l'apiculture y sont pratiquées. D'une longueur 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 commune de Nkongsamba 3ème avant de se jeter dans le fleuve Mounjo. Sa source est de type rhéocrène due à la perméabilité homogène des sols.

Trois stations d'échantillonnage désignées Esoa1, Esoa2 et Esoa3 ont été choisies sur ce cours d'eau.

### **II.2.2.1. Station Esoa 1 (Es1)**

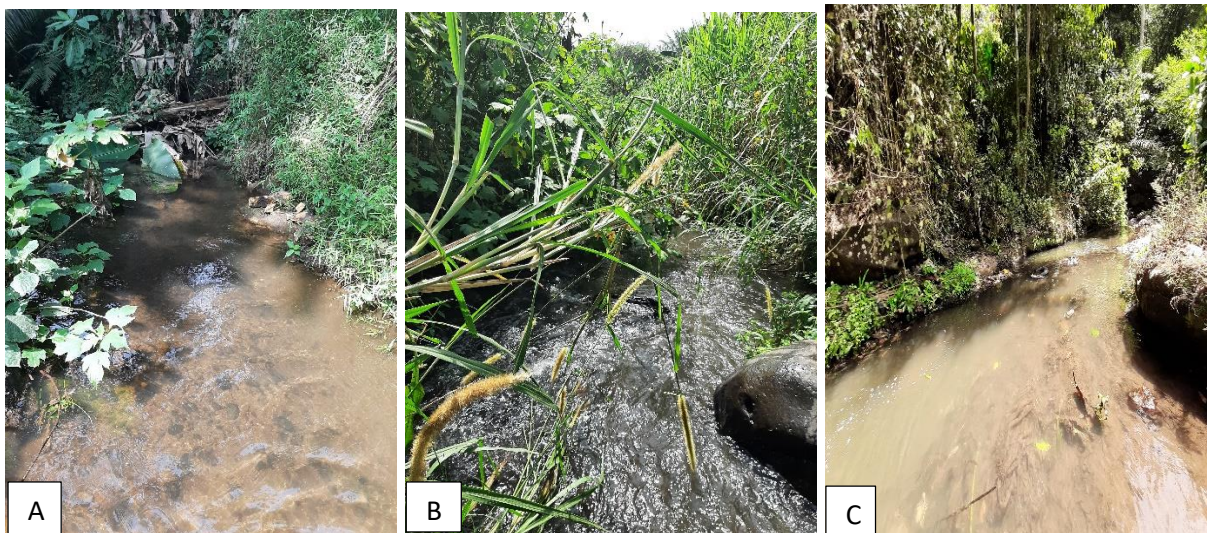
La station Esoa 1 (Figure 9A), a pour coordonnées géographiques 04°58'19.0'' N et 009°55'36.9'' E et se situe à 959 m d'altitude, à environ 2,2 km de la source au lieu-dit Pont Esoa, à quelques mètres de la route nationale numéro 3 (Douala-Yaoundé). La végétation riveraine est abondante et dominée par des bananiers (*Musa paradisiaca*), des plantes herbacées, des arbustes et des palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) formant une canopée et qui empêche par endroits la pénétration des rayons lumineux dans les eaux. La lessive et les travaux champêtres sont les principales activités pratiquées dans cette zone. Le lit du cours d'eau est constitué d'un substrat sableux et rocheux, de feuilles mortes et de branchages par endroits (Figure 4A).

### **II.2.2.2. Station Esoa 2 (Es2)**

La station Esoa 2 (Figure 9B), de coordonnées géographiques 04°57'53.5'' N et 009°55'56.8'' E, est située à une altitude de 889 m dans le cours moyen, 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 d'un jardin où l'on cultive des légumes et du piment. En amont, 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, jonché de feuilles mortes, d'emballages plastiques et de troncs de bananiers (Figure 8B).

### II.2.2.3. Station Esoa 3 (Es3)

La station Esoa 3 (Figure 9C), est située dans le cours inférieur, à environ 3,7 km de la source et à 2 km de la station Esoa 2. De 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. La végétation faite d'arbres et d'arbustes 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. Cette station fait suite à une impressionnante chute haute de 15m environ. Les principales activités pratiquées ici sont la lessive, la vaisselle, la baignade et les travaux champêtres. Le lit du cours d'eau est constitué d'un substrat rocheux et sableux avec des feuilles mortes et des branchages (Figure 9C).



**Figure 9** : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau l'Esoa pendant la période d'étude: A= station Es1; B= station Es2; C= station Es3. (Photos Betsi, 2021)

### II.2.3. Bassin versant de l'Egnoki

Le bassin versant du cours d'eau Egnoki a une superficie de 5 km<sup>2</sup> et est délimité au Nord par le mont Nlonako, au Sud par le quartier Cité verte, à l'Est par le quartier 5 et à l'Ouest par le quartier Haoussa. Les principales sources de pollution ici sont les effluents issus de la production d'huile de palme, la lessive, l'agriculture de subsistance, la pêche et l'extraction de sable.

Long d'environ 6,5 km, le cours d'eau Egnoki prend sa source à l'entrée Est de la ville de Nkongsamba au lieu-dit "Mont Nlonako" et coule dans le sens NE-SO. Il arrose la commune

de Nkongsamba 2ème avant de se jeter dans le fleuve Moungo. Sa source est de type rhéocrène due à la perméabilité homogène des sols. Trois sites d'échantillonnage désignés Eg1, Eg2 et Eg3 ont été sélectionnés sur le cours d'eau Egnoki.

### II.2.3.1. Station Eg1

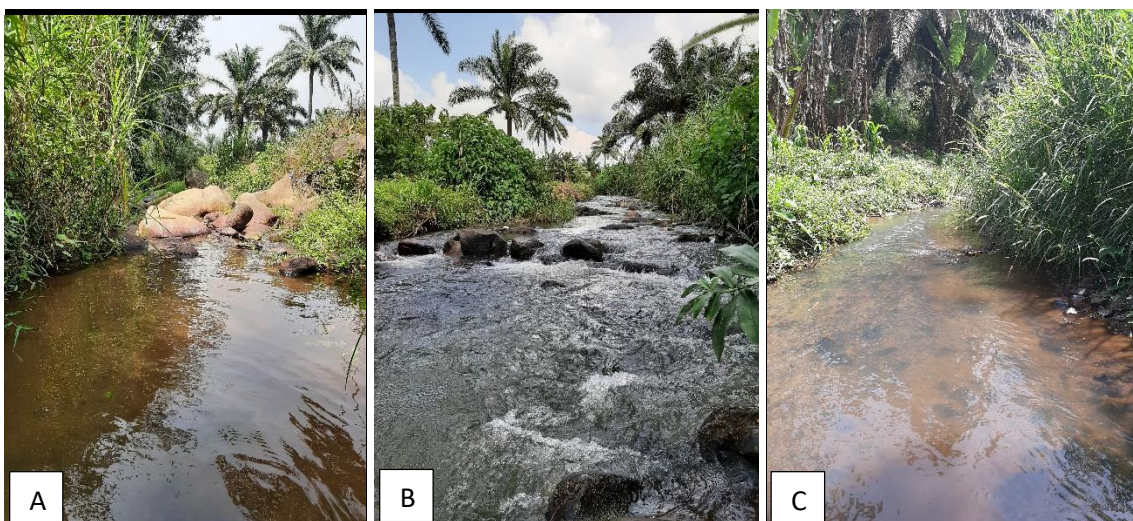
La station Eg1 est située dans le quartier "Cité" verte à 120 m de la source. De coordonnées géographiques 04°55'50.2" N et 009°56'20.1" N avec une altitude de 803 m. La végétation est faite d'arbres, d'arbustes et de palmiers avec comme espèce dominante *Elaeis guineensis*. La lessive, la production d'huile de palme et l'extraction de sable sont les principales activités exercées. Le lit est recouvert de sable et de grands rochers de couleur rouge bordeaux (Figure 10A).

### II.2.3.2. Station Eg2

Elle se trouve à 500 m de la station Eg1 et a 1791 m d'altitude avec comme coordonnées géographiques 04°55'53.6" N et 009°56'11.5" E. La végétation est faite d'arbres, d'arbustes, d'herbes dominées par l'espèce *Panicum maximum*. La natation et l'agriculture sont les principales activités pratiquées. Le lit est vaseux, sableux et rocheux (Figure 10B).

### II.2.3.3. Station Eg3

La station Eg 3 à 500 m de la station Eg2 à une altitude de 781 m correspondant aux coordonnées géographiques 04°55'48.9" N et 009°56'05.7" E. La végétation est faite d'arbres, d'herbes et de palmiers, supplantés par l'espèce *Elaeis guineensis*. La pêche et l'agriculture sont les activités pratiquées dans ce secteur. Le lit est sableux, vaseux et rocheux (Figure 10C).



**Figure 10 :** Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau l'Egnoki: A= station Eg1; B= station Eg2; C= station Eg3 (Photos Betsi, 2021)

#### **II.2.4. Bassin versant du Mbouroukou**

Avec une superficie 10 km<sup>2</sup>, le bassin versant du Mbouroukou est limité au Nord par le quartier Polar, au Sud par le quartier Ngwa, à l'Est par le quartier Barésoumtoum et à l'Ouest par le quartier Mbouroukou 1. Le bassin versant du Mbouroukou est caractérisé par des champs et une faible démographie. Les activités pratiquées ici sont les travaux champêtres. L'origine de la pollution est la défécation dans le cours d'eau par certains riverains. Les eaux du Mbouroukou sont également utilisées pour l'arrosage des maraîchers. Long d'environ 3 km, le cours d'eau Mbouroukou prend sa source au lieu-dit polar et sillonne l'arrondissement de Nkongsamba 1<sup>er</sup>. Trois sites d'échantillonnage désignés Mb1, Mb2 et Mb3 ont été retenus sur le cours d'eau Mbouroukou.

##### **II.2.4.1. Station Mb1**

La station Mb1 dont les coordonnées géographiques sont 04°57'04.5'' N et 009°55'13.1'' E se trouve à 890 m d'altitude à 1178,5 m de la source. La végétation ici est faite d'arbres et d'herbes, avec *Musa paradisiaca* comme espèce dominante. L'activité champêtre est pratiquée. Le lit est tapissé de roches sombres et de sable (Figure 11A).

##### **II.2.3.4.2.2. Station Mb2**

De coordonnées géographiques 04°56'00.0'' N et 009°55'12.3'' E et d'altitude 884 m, cette station est localisée à 400 m de la station Mb1. La végétation est faite d'arbres, d'herbes avec comme espèce dominante *Rhapis excelsa*. Les travaux champêtres sont pratiqués ici. Le lit est recouvert de sable et de pierres noires (Figure 11B).

##### **II.2.3.4.2.3. Station Mb3**

Cette station, de coordonnées géographiques 04°56'54.1'' N et 009°55'12.6'' N, avec une altitude de 878 m elle se trouve à 1640 m de la station Mb2. La végétation est faite d'arbres et de courtes herbes avec *Eleais guineensis* comme espèce dominante. La lessive et les travaux champêtres sont les principales activités pratiquées dans cette zone. Son lit est fait d'un substrat sableux vaseux et rocheux (Figure 11C).



**Figure 11** : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Mbouroukou pendant la période d'étude: A= station Mb1; B= station Mb2; C= station Mb3. (Photos Betsi, 2021)

## II.3. METHODES

### Choix des sites d'étude

Cette étude s'est déroulée en deux phases, la première allant de novembre à décembre 2020 consistant à la prospection des sites en vue d'une meilleure connaissance des bassins versants et au choix des stations d'échantillonnage et la seconde de janvier 2021 à janvier 2022, consacrée à la collecte des données hydrologiques, physicochimiques et biologiques suivant une fréquence mensuelle.

#### II.3.1. Mesure des variables hromorphométriques

Les paramètres hydromorphométriques considérés sont la vitesse d'écoulement des eaux, le débit, la largeur de la section mouillée, la profondeur de l'eau et la hauteur du substrat meuble. Pour chacun de ces paramètres, deux séries de mesures ont été effectuées in situ dans chaque station, une en saison de pluie (mai) et une en saison sèche (Janvier) et les valeurs moyennes ont été considérées.

La vitesse d'écoulement de l'eau ( $V$ ) a été déterminée dans chaque station, par la méthode indirecte qui consiste à déterminer à l'aide d'un chronomètre le temps mis par un colorant neutre non polluant (le bleu de méthylène) pour parcourir une distance donnée. Elle est ensuite calculée par la formule  $V = \frac{d}{t}$

Où  $V$  (exprimée en m/s) représente la vitesse d'écoulement de l'eau,  $d$  (exprimée en m) la distance parcourue et  $t$  (exprimé en s) le temps mis.

La largeur de la section mouillée exprimée en mètres a été mesurée en tendant une ficelle graduée d'une berge à l'autre, à la zone limite de l'eau.

Pour effectuer les mesures des hauteurs de l'eau et du substrat meuble (exprimées en m), une règle en bois de 2 m de long, graduée en millimètres a été plongée verticalement dans la colonne d'eau et les mesures effectuées suivant un pas régulier de 30 cm chacun d'une berge à l'autre.

### **II.3.2. Analyse de la qualité physico-chimique de l'eau**

Les mesures des paramètres 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).

#### **II.3.2.1. Mesures *in situ***

##### **II.3.2.1.1. Température**

La température de l'eau a été mesurée à l'aide d'un multimètre portatif de marque HANNA et de modèle HI 98130. Et les résultats exprimés en degrés Celsius °C.

##### **II.3.2.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)**

Le potentiel d'Hydrogène a été mesuré à l'aide d'un multimètre de marque HANNA modèle HI 98130 et les résultats ont été exprimés en unités conventionnelles (UC).

##### **II.3.2.1.3. Conductivité électrique et Solides Totaux Dissous (STD)**

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

##### **II.3.2.1.4. Oxygène dissous**

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

#### **II.3.2.2. Mesures au laboratoire**

Les prélèvements d'eau destinés aux les analyses en laboratoire ont été réalisés dans les flacons en polyéthylène de 500ml et 1000 ml. Ces prélèvements ont été effectués à contre-courant, sans faire de bulles et les flacons remplis à ras bord, fermés par double bouchage et conservés en enceinte réfrigérée jusqu'au laboratoire.

#### **II.3.2.2.1. Matières en Suspension (MES)**

La teneur de l'eau en MES a été évaluée par colorimétrie au spectrophotomètre Hydro Test HT 1000 à la longueur d'onde 810 nm et les valeurs exprimées en mg/L.

#### **II.3.2.2.2. Turbidité**

La turbidité a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre Hydro Test HT 1000 à la longueur d'onde 450 nm et les valeurs obtenues ont été exprimées en FTU (Formazin Turbidity Unit).

#### **II.3.2.2.3. Couleur**

La couleur de l'eau a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre Hydro Test HT1000 et la lecture s'est faite à la longueur d'onde 455 nm et les valeurs exprimées en Pt-Co (Platinum-Cobalt).

#### **II.3.2.2.4. Orthophosphates, formes d'Azote minéral**

La teneur de l'eau en orthophosphates et en composés azotés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre de marque Hydro Test HT1000. Les lectures se sont faites aux longueurs d'onde  $\lambda = 425$  nm,  $\lambda = 507$  nm et  $\lambda = 530$  nm respectivement et les résultats exprimés en mg/L de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2^-$ , de  $\text{NO}_3^-$  et de  $\text{PO}_4^{3-}$  respectivement.

#### **II.3.2.2.5. Alcalinité**

L'alcalinité a été déterminée par volumétrie en titrant 50 ml d'échantillon d'eau brute avec de l'acide sulfurique N/50, en présence du rouge vert de méthyl bromocrésol comme indicateur coloré. Les résultats exprimés en mg/L de  $\text{HCO}_3^-$  ont été obtenus par la formule ci-après :

$$\text{Alcalinité (mg/L de HCO}_3^-) = (\text{descente de burette de l'échantillon}) \times 20$$

#### **II.3.2.2.6. Oxydabilité**

L'oxydabilité a été mesurée par volumétrie. Ainsi, dans un erlenmeyer de 500 ml, 200 ml d'échantillon d'eau brute sont introduits puis 2 ml de carbonate monosodique et l'ensemble porté à ébullition sur une plaque chauffante. Dès le début de l'ébullition, 20 ml de  $\text{KMnO}_4$  N/80 sont ajoutés. Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erlenmeyer est refroidi à l'eau courante, puis 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25% et 20 ml de sel de Mohr y sont ajoutés successivement. L'échantillon décoloré est ensuite titré au  $\text{KMnO}_4$  N/80 jusqu'à obtention d'une couleur rose

persistante. L'échantillon témoin est préparé dans les mêmes conditions, mais avec de l'eau distillée. L'oxydabilité exprimée en mg/L de O<sub>2</sub> s'obtient par la formule:

$$\text{Oxydabilité (mg/L de O}_2\text{)} = \frac{(q - q_0)}{2} \times 3,95$$

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

#### **II.3.2.2.7. Gaz Carbonique dissous (CO<sub>2</sub>)**

Les teneurs en CO<sub>2</sub> dissous ont été déterminées en 2 étapes :

- Sur le terrain, le CO<sub>2</sub> est fixé en introduisant dans une fiole jaugée de 200 ml contenant préalablement 20 ml de NaOH N/20, 2 à 3 gouttes de phénolphaléine, 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 sont titrés avec du HCl N/10 jusqu'à décoloration complète. La teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> exprimée en mg/L est 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.3.3. Echantillonnage et identification des macroinvertébrés benthiques**

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques a été effectué suivant l'approche multihabitat préconisée par Stark *et al*, (2001) et révisée par Moisan et Pelletier (2011). La collecte des organismes a ainsi été faite à l'aide d'un troubleau de forme carrée de 30 cm de côté, muni d'un filet conique de 400 µm d'ouverture de maille et de 50 cm de profondeur. A chaque station d'étude, une vingtaine de coups d'épuisette a été effectuée, chacun sur environ 50 cm de long, équivalent au total à une surface approximative de 3m<sup>2</sup>, dans les différents microhabitats caractérisés par le couple substrat/vitesse. Chaque fois, les organismes retenus par les mailles du filet ont été triés et collectés à l'aide d'une paire de pinces fines, puis introduits dans des piluliers de 200 ml préalablement étiquetés et fixés au formol 10%.

Au laboratoire, les spécimens capturés ont été rincés à l'eau de robinet pour diminuer l'excès de formol puis conservés dans l'éthanol 70° avant les opérations d'identification et de comptage. Pour chaque station, les organismes ont été introduits dans des boîtes de pétri de 90 mm de diamètre, regroupés suivant leurs caractères généraux, leur taille, leur morphologie, leurs affinités et leurs ressemblances, puis identifiés sous une loupe binoculaire de marque BRESSER HG878513 à éclairage épiscopique, à l'aide des clés et ouvrages d'identification

proposées par 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). Le comptage des individus s'est fait jusqu'à épuisement de l'échantillon.

### II.3.4. Utilisation de l'IPO

L'analyse des données physico-chimiques s'est faite par comparaison des données de cette étude aux grilles de qualité des eaux de surface proposées par Nisbert et Verneaux (1970). Par ailleurs, l'Indice de Pollution Organique (IPO) a été calculé à partir des classes de qualités obtenues pour les concentrations de trois variables: azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et Orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). La valeur des classes est lue dans le tableau III et les résultats obtenus variant de 1 (pollution organique très forte) à 5 (pollution organique nulle) (tableau III).

**Tableau III:** Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique (IPO) d'après Leclercq (2001).

Classes \ Paramètres	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g/L}$ )	$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{g/L}$ )
5	< 0,1	$\leq 5$	$\leq 15$
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

**Tableau IV:** Classification du niveau de pollution en fonction des classes de valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO)

Moyennes des classes	5,0 – 4,6	4,5 – 4,0	3,9 – 3,0	2,9 – 2,0	1,9 – 1,0
Niveau de pollution organique	Nulle	Faible	Modérée	Forte	Très forte
couleurs					

### II.3.5. Indices de diversité des macroinvertébrés benthiques

L'analyse des données biologiques est basée sur le calcul des indices biologiques. Ces indices permettent d'évaluer la qualité biologique des milieux aquatiques par l'expression d'une valeur simple et unique.

#### II.3.5.1. Richesse spécifique (S)

Elle indique le nombre d'espèces recensées dans un milieu donné et à un moment donné. Elle renseigne sur la variabilité des niches écologiques d'une station (Alliaume *et al.*, 1990).

### II.3.5.2. Abondance

Pour sa part, l'abondance désigne le nombre d'individus (N) d'une espèce ou d'un groupe taxinomique dans un prélèvement donné.

### II.3.5.3. La densité

Elle exprime le nombre d'individus d'une espèce ou d'un groupe taxinomique récolté par unité de volume ou de surface. Pour cette étude, la densité surfacique ( $D_i$ ) exprimée en ind./m<sup>2</sup> a été calculée selon la formule où  $N_i$  représente le nombre d'individus appartenant à l'espèce  $i$  et  $S$  la surface de prélèvement.

$$D_i = \frac{N_i}{S}$$

### II.3.5.4. Fréquence d'occurrence des taxa

La fréquence d'occurrence (F) exprimée en pourcentage, renseigne sur la constance d'une espèce ou d'un taxon dans un habitat donné sans aucune indication sur son importance quantitative (Dajoz, 2000). On distingue les espèces omniprésentes qui apparaissent dans tous les relevés (100 %), les espèces régulières, dans 75 à moins de 100 % de relevés, les espèces constantes, dans 50 à moins de 75 % de relevés ; les espèces accessoires dans 25 à moins de 50 % des relevés et les espèces rares présentes dans moins de 25 % de relevés (Dufrêne & Legendre, 1997). Cet indice est basé sur la matrice de présence/absence et se calcule selon la relation  $F = \frac{P_i \times 100}{P_t}$

Où  $P_t$  est le nombre total de prélèvements et  $p_i$  le nombre de prélèvements où l'espèce  $i$  est présente.

### II.3.5.5. Coefficient de similarité de Sørensen

Le coefficient de similarité de Sørensen (1948) s'applique sur la matrice présence/absence de taxa et se calcule selon la formule  $S = \frac{2C}{(a+b)} \times 100$  avec  $S$  = coefficient de similarité de Sørensen ;  $a$  = nombre de taxons présents dans la station 1 ;  $b$  = nombre de taxons présents dans la station 2 ;  $C$  = nombre de taxons communs aux deux stations.

Elle a été utilisée pour déterminer le taux de ressemblance entre le peuplement de macroinvertébrés récoltés dans les différents bassins versants d'une part et, entre des peuplements des différentes stations d'échantillonnage d'autre part.

### II.3.5.6. Indice de diversité de Shannon & Weaver et d'Équitabilité de Piélou

L'indice de diversité ( $H'$ ) de Shannon-Weaver (1963) a été utilisé pour mettre en évidence la diversité globale du peuplement. Il permet de mesurer le degré d'organisation du peuplement (Krebs, 1989 ; Dajoz, 2000 ; Tonkin *et al.*, 2013). Selon Ramade (2005), il convient à l'étude comparative du peuplement parce qu'il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon. Cet indice se calcule selon la formule

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \log_2 p_i)$$

où  $p_i$  est la proportion de chaque espèce ou taxon dans le peuplement et  $S$  le nombre total d'espèces ou de taxons.  $H'$  est exprimé en unité d'information par individu ou bits par individu (bits/ind.) et est compris entre 0 et  $\log_2 S$ . La diversité est grande lorsque  $H'$  tend vers  $\log_2 S$  (Lévêque & Balian, 2005).

Pour ce qui est de l'indice d'équitabilité ( $E$ ) de Piélou (1969), il permet d'étudier la régularité de la distribution des espèces. Cet indice varie entre 0 et 1 et traduit la qualité d'organisation d'un peuplement (Amanieu & Lasserre, 1982 ; Dajoz, 2000). Il est proche de 1 quand toutes les espèces tendent à avoir une même abondance et proche de 0 quand une ou quelques espèces dominent le peuplement. Il se calcule selon l'équation

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

où  $H'$  est l'indice de diversité de Shannon et Weaver et  $S$  le nombre d'espèces.

### II.3.5.7. L'indice biotique de Hilsenhoff (FBI)

Le FBI tient compte des cotes de tolérance de chacun des taxons composant la communauté. Il a été calculé à partir des cotes de tolérance variant sur une échelle de 0 à 10, attribuées aux différentes familles de macroinvertébrés benthiques (Hilsenhoff, 1988 ; Bode *et al.*, 1996 ; Bode *et al.*, 2002). L'indice de Hilsenhoff (FBI) a pour formule :

$$\mathbf{FBI} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i t_i}{n i} \dots$$

Avec,  $x_i$  = nombre d'individus du  $i$ ème taxon,  $t_i$  = tolérance du  $i$ ème taxon et  $n$  = nombre d'individus composant l'échantillon. L'échelle d'interprétation des résultats est consignée dans le tableau V ci-dessous.

**Tableau V:** Grille d'interprétation de l'Indice Biotique (FBI) de Hilsenhoff (1988).

Indice biotique des familles	Qualité de l'eau	Dégré de pollution organique
0,00-3,75	Excellente	Pollution organique peu probable
3,76-4,25	Très bonne	Possibilité d'une légère pollution organique
4,26-5,00	Bonne	Pollution organique probable
5,01-5,75	Faible	Pollution assez substantielle probable
5,76-6,50	Passable	Pollution importante probable
6,51-7,25	Mauvaise	Pollution très importante probable
7,26-10,00	Très mauvaise	Risque de forte pollution organique

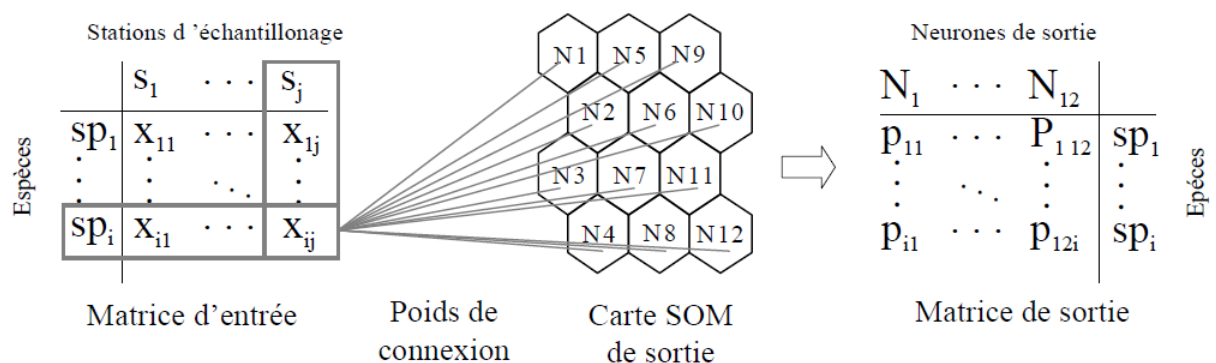
#### II.3.5.8. Indices EPT, EPTD, EPTC, EPTH et EPT/densité de chironomides

Les indices EPT, EPTD, EPTC, EPTH correspondent au nombre total de taxons d'Ephéméroptères (E), de Plécoptères (P), de Trichoptères (T), de Décapodes (D), de Coléoptères (C), d'Hétéroptères (H) et le rapport densité EPT/densité de chironomidae inventorié dans une station (Feio et Dolédec, 2012). Ce sont des outils utilisés pour évaluer la qualité de l'eau et la diversité des macroinvertébrés benthiques dans les écosystèmes aquatiques. Il s'agit de groupes taxonomiques renfermant les taxa les plus sensibles à la pollution organique de l'eau (Mboye, 2019). Les valeurs élevées de ces indices indiquent que le milieu est peu ou pas perturbé, avec un niveau de pollution non perceptible et par conséquent, de bonne qualité écologique (Tchakonté, 2016). Pour ce qui est du rapport densité EPT/densité de chironomidae, il s'agit de l'abondance des EPT par unité de surface rapporté à celle des chironomidae. La détermination de ce rapport permet d'évaluer le degré de stress environnemental que subit le cours d'eau, car d'après Rothrock *et al.* (1998), les chironomidae auraient tendance à augmenter en densité relative et à dominer la communauté là où il y a un enrichissement en matières organiques.

#### II.3.5.9. Réseau de Neurones Artificiels : cartes auto-organisatrices

L'extension Self-Organizing Maps (SOM) ou cartes auto-organisatrices du model de Réseau de Neurones Artificiels (RNA) développé par Kohonen (2001) a été utilisée pour établir la biotypologie des différentes stations sur la base de la matrice d'abondance des taxa. Cette analyse permet d'effectuer une classification non linéaire capable de montrer des patrons simplifiés et d'identifier des groupes semblables à partir des bases de données complexes (Kohonen, 1982, 2001). Cette méthode a déjà prouvé son efficacité dans les analyses écologiques, y compris celles des invertébrés (Tchakonté, 2017).

La SOM se compose habituellement de deux couches de neurones (entrée et sortie). La couche d'entrée est la matrice d'abondance des taxa. Elle est directement reliée à une couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen, composée de neurones artificiels de sortie ou nœuds (Figure 12). La SOM estime les intensités de connexion (ou poids synaptiques) entre les couches d'entrée et de sortie en utilisant un procédé concurrentiel non supervisé décrit par Kohonen (2001). Celui-ci recherche des similarités parmi les données observées et les représente dans la carte de sortie. La SOM peut «apprendre» en utilisant divers nombres de neurones de sortie pour trouver une taille appropriée, facile à interpréter et avec une erreur faible d'« apprentissage ». Le nombre de nœuds est choisi en minimisant l'erreur dite de quantification (QE, Quantization Error) et l'erreur de topographie (TE, Topographic Error). L'erreur de quantification mesure la résolution de la carte tandis que l'erreur de topographie est utilisée pour mesurer la préservation de la typologie (Kiviluoto, 1996). A la fin du processus d'apprentissage, une carte de plusieurs hexagones est obtenue, il y a dans chaque hexagone un échantillon virtuel pour lequel la composition spécifique est calculée. Ainsi, cette carte peut être utilisée de plusieurs façons, en affichant les échantillons réels ou la distribution des espèces ou encore en combinant les deux représentations (Giraudel & Lek, 2001). Une fois la carte de Kohonen obtenue, il peut être difficile de distinguer les frontières entre différents sous-ensembles. Un algorithme d'analyse de classification hiérarchique basée sur la méthode de Ward et la distance Euclidienne permet ensuite de mettre en évidence les assemblages des échantillons réels sur la carte (Park *et al.*, 2003)(Figure 12). L'interface SOM Toolbox (version 6.1) pour Matlab a été utilisée pour la réalisation de la SOM.



**Figure 12:** Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice (SOM).

## **II.3.6. Tests statistiques et analyse de données**

### **II.3.6.1. Test de Kruskal-wallis**

Le logiciel SPSS 26.0 a permis de réaliser le test non paramétrique H de Kruskal-Wallis. Ce test a été utilisé pour vérifier sur le plan spatial et temporel, la signification des différences (ou similarités) de variances des paramètres abiotiques, de la richesse taxonomique et de l'indice de diversité de Shannon et Weaver, relatifs à la distribution des macroinvertébrés benthiques. Dans ce cas, deux hypothèses sont émises : une hypothèse nulle selon laquelle les médianes des échantillons à comparer ne diffèrent pas significativement, et une seconde hypothèse alternative selon laquelle il existe une différence significative entre les médianes des échantillons à comparer. L'analyse est effectuée à l'aide du programme Statistica 7.1 qui nous donne la valeur de p (p-value). Si cette valeur est inférieure à 0,05 ( $p < 0,05$ ), l'hypothèse nulle est rejetée. Dans le cas contraire ( $p \geq 0,05$ ) elle est vérifiée. Ce test de rangs considère que la variable étudiée est quantitative et qu'elle a été mesurée avec au moins une échelle ordinale (rangs). Le test de Kruskal-Wallis est très voisin de l'ANOVA paramétrique à un facteur, sachant qu'il se base sur des rangs et non des moyennes (StatSoft France, 2005).

### **II.3.6.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Dans cette étude, l'ACP a été utilisée pour établir la typologie abiotique des stations d'échantillonnage sur la base de l'ensemble des paramètres environnementaux mesurés à chaque station 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). La matrice de données est composée des échantillons « n » en ligne sur lesquels sont mesurés des variables quantitatives « p » disposées en colonnes. La matrice utilisée dans cette étude est une base ayant subi une transformation logarithmique «  $\text{Log}(X + 1)$  » pour avoir une normalité approximative puis standardisée pour obtenir une échelle comparable des variables (Michael *et al.*, 2004). Le tableau de données « n » × « p » forme ainsi un nuage de « n » points dans un espace à « p » dimensions. Chaque composante principale (dimension) explique une quantité plus ou moins importante de l'information de départ. Les composantes principales sont classées par ordre décroissant de la quantité d'information qu'elles expliquent. En général, les deux à trois premières composantes principales suffisent pour expliquer 60 à 70% de l'information contenue dans la matrice de départ (Ouro-Boya, 2004). Les composantes principales sont obtenues par la diagonalisation d'une matrice qui, suivant la nature des variables initiales, est soit la matrice des corrélations, soit la matrice des covariances (Legendre & Legendre, 1979). Dans le cadre

de cette étude, c'est la matrice de corrélation 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 représentation ; le diagramme de dispersion des variables qui est un cercle de corrélation et le diagramme de dispersion des sites. Le pourcentage d'information initiale expliquée par chaque composante principale est illustré sous forme d'histogramme. Le logiciel XLSTAT version 18.0 a été utilisé pour cette analyse.

### **II.3.6.3. Analyse Canonique des Correspondances (ACC)**

L'Analyse Canonique des Correspondances réalise les analyses de gradients indirectes habituelles comme l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle des correspondances. Son exécution nécessite deux fichiers de données, la matrice espèces-sites et la matrice variables environnementales-sites. Pour cette étude, l'ACC a permis de mettre en relation les abondances des principaux taxa de macroinvertébrés benthiques et les variables environnementales après avoir subi une transformation logarithmique [ $\log(X + 1)$ ] (Ter Braak & Smilauer, 2002). Elle a permis de déterminer les facteurs abiotiques influençant l'abondance des taxons dans les différents groupes définis par la SOM. Les principaux taxa sont ceux qui constituent au moins 5 % des effectifs d'organismes récoltés au moins à une des stations. La pertinence de l'analyse a été d'abord vérifiée grâce au test de permutation de Monte-Carlo (Manly, 1991) sur 499 permutations aléatoires (McQuoid & Godhe, 2004). Le résultat de cette analyse est présenté par un graphique sur lequel sont projetées les variables abiotiques, les espèces et les sites d'échantillonnage. L'Analyse Canonique des Correspondances a été effectuée grâce R studio.

### **II.3.6.4. Méthode Indval**

La méthode des valeurs indicatrices « Indval: Indicator value » est une méthode permettant de sélectionner les espèces les plus indicatrices des conditions environnementales des groupes obtenus après une ordination (Dufrêne et Legendre, 1997). Le principe de la méthode « Indval » repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce: une espèce est considérée comme indicatrice si elle est typique d'un groupe de relevés (elle est absente des autres groupes) et si elle est présente dans tous les relevés de ce groupe.

La technique consiste à définir la typologie des stations en s'appuyant sur les méthodes de classification. Dans ce travail, les données proviennent de la classification des paramètres abiotiques et biotiques, les données brutes de l'inventaire faunistiques et celle de quelques paramètres environnementaux.

Pour chaque espèce  $i$  dans chaque groupe de relevés  $j$ , on calcule le produit de  $A_{ij}$  par  $B_{ij}$ . Le facteur  $A_{ij}$  est la moyenne des abondances de l'espèce  $i$  dans les sites du groupe de relevés  $j$  par rapport à tous les groupes. Le second facteur  $B_{ij}$  représente la fréquence relative d'occurrence de l'espèce  $i$  dans les sites du groupe  $j$ . Toutes ces variables se calculent selon les formules 1, 2 et 3:

$$A_{ij} = \frac{\text{Nombre d'individus } ij}{\text{Nombre d'individus } i} \quad (1); \quad B_{ij} = \frac{\text{Nombre de sites } ij}{\text{Nombre de sites } i} \quad (2); \quad \text{Indval} = (A_{ij} \times B_{ij}) * 100 \quad (3)$$

où Indval est la valeur indicatrice de l'espèce  $i$  dans le groupe de relevés  $j$ . Ainsi,  $A_{ij}$  mesure la spécificité de l'espèce pour un groupe tandis que  $B_{ij}$  indique la fidélité de cette espèce à l'intérieur de ce groupe. La spécificité est maximale (100%) lorsque l'espèce n'occupe qu'un groupe et la fidélité est maximale (100%) lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'un groupe. La valeur indicatrice de l'espèce est maximale (100%) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales.

Ce test est surtout utile pour les espèces qui n'ont pas une fidélité importante. La méthode propose aussi une nouvelle présentation du tableau croisant des espèces et des stations qui tient compte des relations hiérarchiques : des espèces sont indicatrices de niveaux élevés du groupement et d'autres de niveaux inférieurs.

Dans cette étude, un taxon est considéré comme indicateur d'un groupe donné quand le test de permutation appliqué à ses différentes valeurs indicatrices est significatif pour ce groupe (Thomas *et al.*, 2004). Outre ce test, les taxons qui ont une valeur indicatrice supérieure ou égale à 25% pour un groupe ont été également assimilés aux taxons indicateurs de cet habitat (Nahmin & Rossi 2003). Cette dernière considération signifie que le taxon caractéristique apparaît au moins à 50% dans un groupe donné de sites et que son abondance relative dans ce groupe atteint 50% (Dufrene et Legendre 1997).

# **Chapitre III: RÉSULTATS ET DISCUSSION**

### III. 1. RESULTATS

#### III.1.1. Caractéristiques hydromorphologiques, édaphiques et physico-chimiques des cours d'eau étudiés

##### III.1.1.1. Variables hydromorphologiques

Les variations spatiales de la largeur du lit mouillé, la profondeur de l'eau, l'épaisseur du substrat meuble et la vitesse de l'eau enregistrées pendant la période d'étude sont consignées dans le tableau VI. Globalement, excepté l'épaisseur du substrat meuble, les plus faibles valeurs de ces paramètres sont dans l'ensemble des stations. Les plus petites valeurs de la largeur du lit mouillé et la profondeur de l'eau (1,5 m et 0,12 m respectivement) sont relevées au niveau de la station Mb2, alors que les valeurs maximales (6,35 m et 0,09 m) sont respectivement notées aux stations Mo1 (pour la largeur du lit mouillé) et Mb<sub>3</sub> (pour la profondeur de l'eau). Les valeurs minimales (0,03 m) et maximale (0,11 m) de l'épaisseur du substrat meuble sont relevées respectivement aux stations Es<sub>1</sub>, Mo1, Mo2 et Mb1. La plus faible vitesse d'écoulement des eaux (0,15 m/s) est notée à la station Eg3 et la vitesse maximale (0,69 m/s) à la station Eg2.

**Tableau VI:** Valeurs des paramètres hydromorphologiques mesurés aux différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude

Stations	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Profondeur de l'eau (m)	Epaisseur du substrat (m)	Vitesse de l'eau (m/s)
Mo 1	0,54	0,21	0,03	0,41
Mo 2	0,63	0,28	0,03	0,6
Mo 3	0,48	0,27	0,04	0,44
Es 1	0,14	0,17	0,05	0,27
Es 2	0,52	0,29	0,08	0,45
Es 3	0,63	0,31	0,11	0,44
Eg 1	0,14	0,23	0,06	0,15
Eg 2	0,95	0,22	0,04	0,69
Eg 3	0,30	0,15	0,04	0,37
Mb 1	0,06	0,15	0,03	0,2
Mb 2	0,10	0,12	0,06	0,59
Mb 3	0,10	0,090	0,04	0,51

##### III.1.1.2. Caractéristiques édaphiques

Les quatre cours d'eau étudiés reposent sur un socle géologique de nature basaltique, caractérisé par une texture microlitique et une structure massive et microcristalline (Tableau VII).

**Tableau VII:** Caractérisation édaphiques par les roches des cours d'eau étudiés.

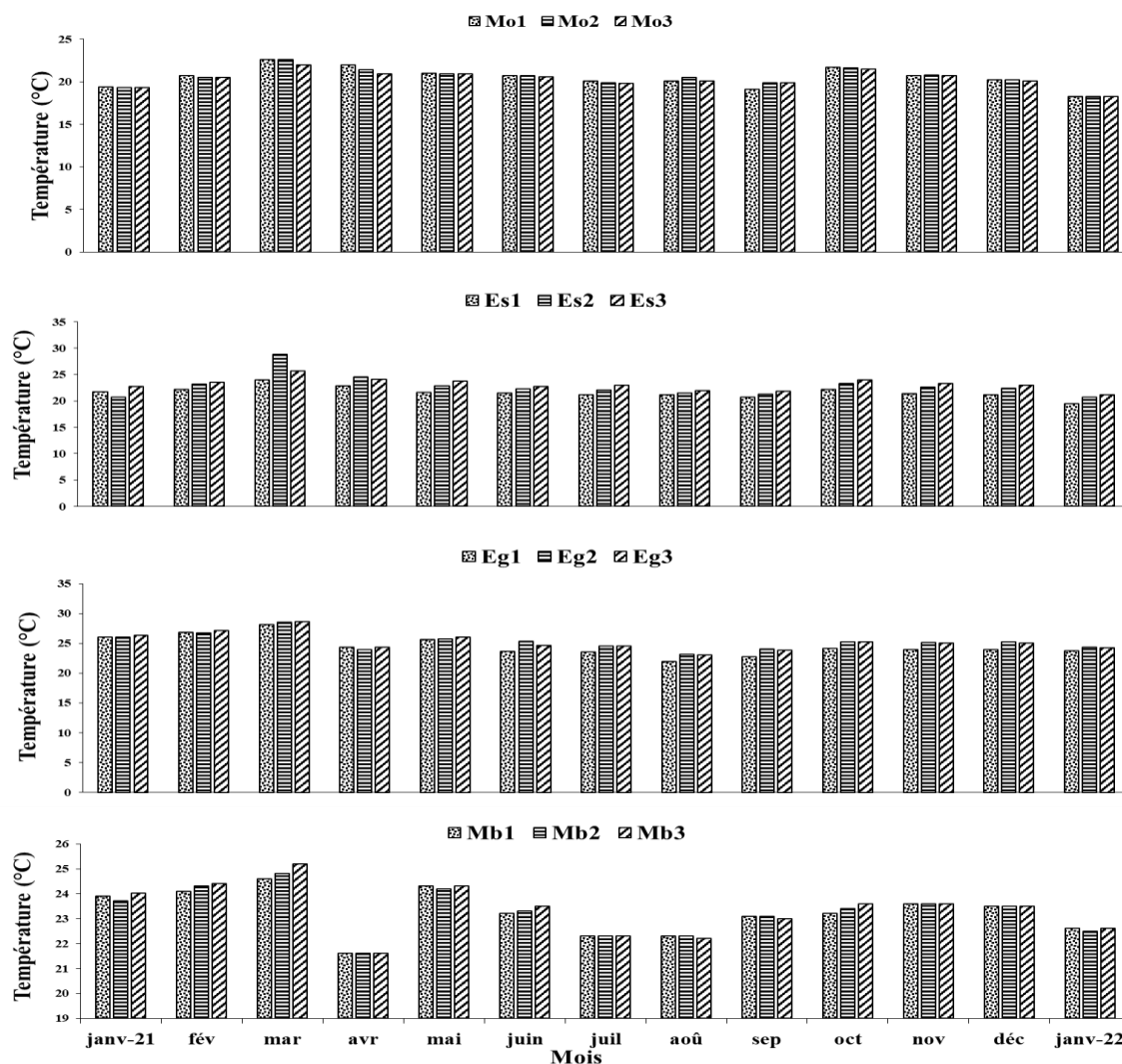
Cours d'eau	Types de roches	Structure	Texture	Composition de la roche	Couleurs de la roche
Moon	Basaltiques (basalte et scories)	Massive et microcristalline	Microlitique	Plagioclase, pyroxène et olivine	Sombre
Esoa					Sombre
Egnoki					Rouge (Eg1) et sombre (Eg2 et Eg3)
Mbouroukou					Sombre

### III.1.1.3. Caractéristiques physiques

#### III.1.1.3.1. Température

Dans le cours d'eau Moon, la température a très peu varié et se situe entre 18,3°C et 22,6°C obtenues respectivement aux stations Mo1, Mo 3 et Mo 2 aux mois de janvier 2022 et mars 2021 (Figure 13A) avec une amplitude thermique de 3,4°C. Le test de Kruskal-Wallis, ne montre aucune différence significative sur le plan spatial. Mais, sur le plan temporel entre les mois de mars 2021 et janvier 2022. Dans l'Essoa, la température la plus faible (19,5°C) a été observée à la station Es 1 au mois de janvier 2022 et la valeur la plus élevée (28,8°C) à la station Es 2 au mois de mars 2021 (Figure 13B). Les moyennes au niveau de chaque station semblent indiquer que la température augmente de l'amont vers l'aval de l'Esoa. Toutefois, des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de mars 2021 et janvier 2022. Dans l'Egnoki, la température de l'eau est comprise entre 21,9°C (Eg1, août 2021) et 28,6°C (Eg3, mars 2021) (Figure 13C). Le test de Kruskal Wallis, ne fait observer aucune différence significative sur le plan spatial mais elle est observée sur le plan temporel entre les mois d'août et de mars 2023. La température de l'eau du Mbouroukou oscille entre 21,6°C (Mb 1, Mb2, et Mb3 avril 2021) et 25,2°C (Mb3, mars 2021) (Figure 13D). Les valeurs de la température de ce cours d'eau ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre, mais d'un mois à l'autre notamment entre les mois de mars et avril 2021.

Dans tous les cours d'eau étudiés, les températures les plus faibles ont été observées entre les mois d'avril 2021 et janvier 2022, alors que les températures les plus élevées ont notamment été enregistrées au mois de mars. Aussi, la température moyenne indique que les valeurs les plus fortes ont été enregistrées dans l'Egnoki ( $24,98 \pm 15$ ) et les plus faibles dans le Moon ( $20,46 \pm 12$ ).



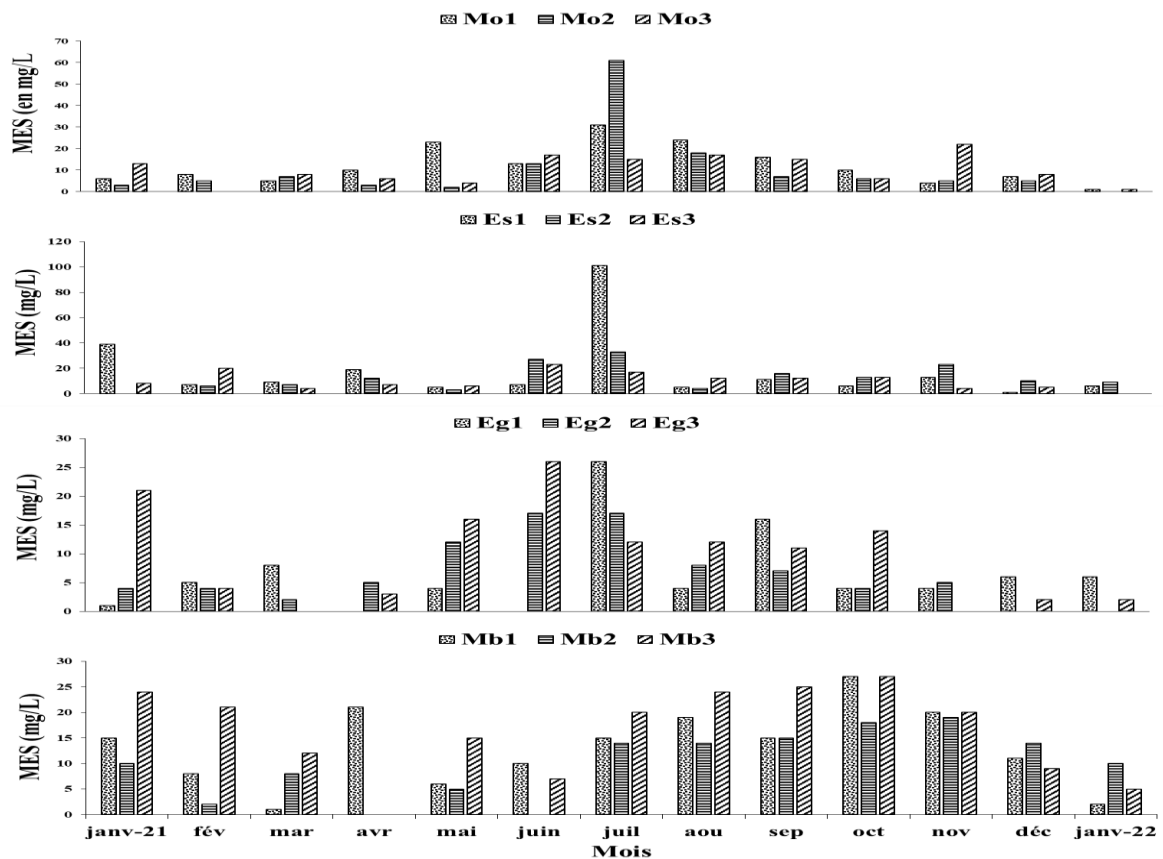
**Figure 13:** Variation spatio-temporelle de la température dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude. Avec A = Moon B = Esoa C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.3.2. Matières en Suspension (MES)

Dans le Moon, la plus forte valeur (61mg/l) de MES a été observée à la station Mo 2 au mois de juillet 2021 et la plus faible (0 mg/l) obtenue aux stations Mo1 et Mo 2 respectivement aux mois de février 2021 et janvier 2022 (Figure 14A). Pour ce paramètre, aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatial, mais sur le plan temporel, entre les mois de juillet 2021 et janvier 2022. Dans l'Esoa, les teneurs en MES fluctuent entre 0 mg/l et 101 mg/l avec une moyenne de  $13,41 \pm 5$  (Figure 14B). L'application du test de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative sur le plan spatio-temporel. Les teneurs en MES de l'eau dans l'Egnoki oscillent entre 0 mg/l et 26 mg/l avec une moyenne de  $7,48 \pm 35$ . Tout comme dans l'Esoa, aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatio-temporel. Dans le

Mbouroukou, les teneurs en MES varient entre 0 mg/l aux stations Mb2 et Mb3 aux mois d'avril et juin 2021 et 27 mg/l aux stations Mb1 et Mb3 au mois d'octobre 2021. Aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatial, mais plutôt sur le plan temporel entre les mois d'avril et juin 2021.

En outre, la teneur en MES la plus élevée a été observée dans le cours d'eau Esoa et la plus faible dans les autres cours d'eau (Figure 14).



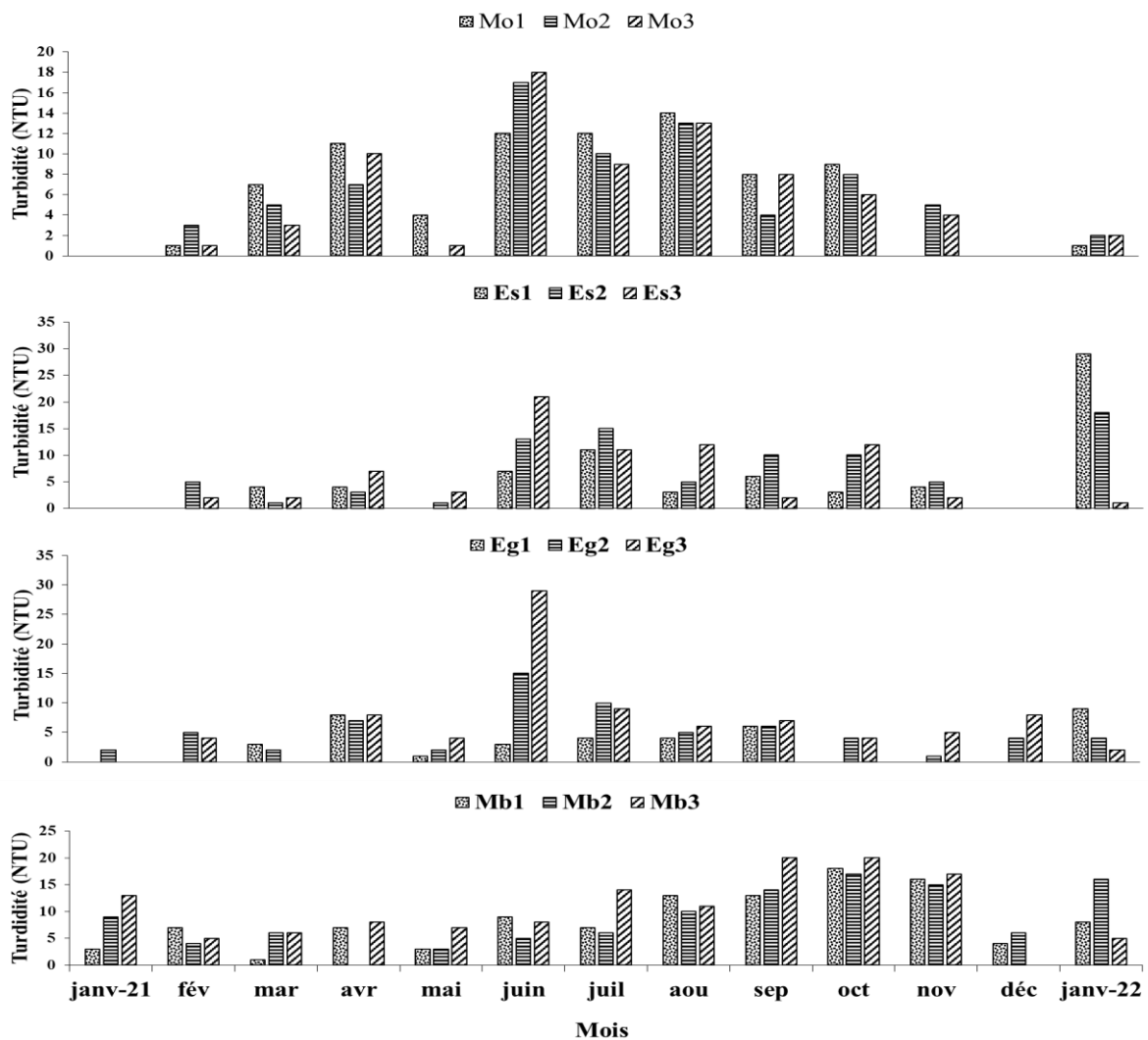
**Figure 14:** Variation spatio-temporelle des teneurs en MES dans les cours d'eau pendant la période d'étude avec A= Moon, B= Esoa, C= Egnoki et D=.Mbouroukou

### III.1.1.3.3. Turbidité

Les profils de turbidité dans les différents cours d'eau sont sensiblement similaires. Dans le cours d'eau Moon, les valeurs sont comprises entre 0 NTU (stations Mo1, Mo2, Mo3 aux mois de janvier, mai, novembre et décembre 2021) et 18 NTU (Mo3, au mois de juin 2021). Le test de Kruskal-Wallis n'a montré aucune différence significative sur le plan spatial mais plutôt sur le plan temporel entre les mois de décembre 2021 et juin 2021 ( $p < 0,05$ ) (Figure 15A). Dans le cours d'eau Esoa, les valeurs de la turbidité oscillent entre 0 NTU (station Es1, Es2 et Es3 aux mois de janvier, février, mai et décembre 2021) et 29 NTU (station Es2, au mois de janvier 2022). Aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatial, mais plutôt

sur le plan temporel, entre les mois de janvier et février 2021 (Figure 15B). Dans le cours d'eau Egnoki, les valeurs de la turbidité varient entre 0 NTU (station Eg1 et Eg3 en janvier, février, octobre, novembre et décembre 2021) et 29 NTU (station Eg3, en juin). Le test de Kruskal-Wallis n'a montré aucune différence significative sur le plan spatial, mais plutôt sur le plan temporel entre les mois de mars et août 2021 (Figure 15C). Dans le cours d'eau Mbouroukou, ces valeurs évoluent entre 0 NTU (station Mb2 et Mb3, en avril et décembre) et 20 NTU (station Mb3, au mois d'octobre). Les fluctuations de ce paramètre montrent des différences significatives sur le plan temporel entre les mois de juin et décembre 2021 ( $p < 0,05$ ) mais non sur le plan spatial (Figure 15D).

La valeur de turbidité la plus élevée a été enregistrée dans l'Esoa et l'Egnoki et la plus faible dans le Moon (Figure 15).

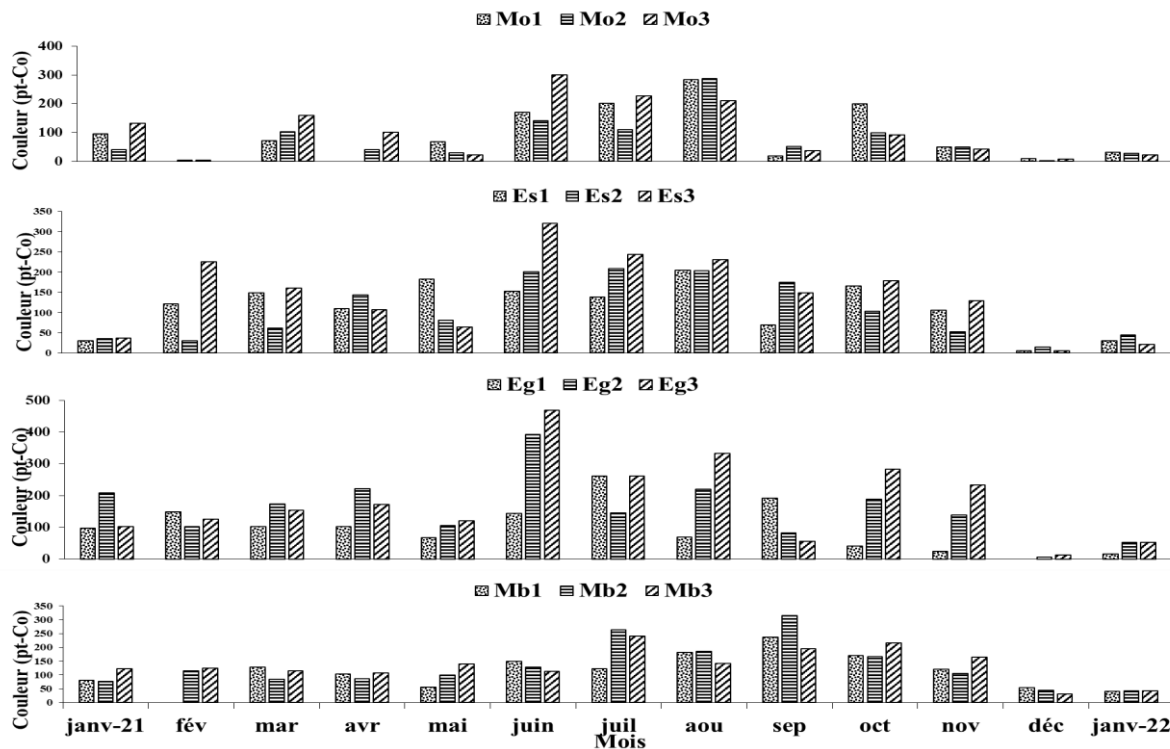


**Figure 15:** Variation spatio-temporelle des valeurs de la turbidité dans les cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.3.4. La couleur

Dans le cours d'eau Moon, les valeurs oscillent entre 0 Pt.Co (stations Mo1 et Mo2 respectivement en avril et février) et 301 Pt.Co (station Mo3 en juin). D'après le test de Kruskal-Wallis, aucune différence significative n'est observée sur le plan spatial, mais plutôt sur le plan temporel entre les mois de février et d'août 2021. Les valeurs de la couleur dans l'Esoa varient entre 5 Pt.Co à la station Es1 au mois de décembre et 320 Pt.Co à la station Es3 au mois de juin. D'après le test de Kruskal-Wallis, aucune différence significative n'est observée sur le plan spatial, mais plutôt sur le plan temporel entre les mois d'août et décembre 2021. L'Egnoki quant à lui présente des valeurs de couleur comprises entre 0 Pt.Co (station Eg1 en décembre 2021) et 469 Pt.Co (station Eg3 en juin). Le test de Kruskal Wallis n'ayant montré aucune différence sur le plan spatio-temporel ( $p > 0,05$ ), les valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $145,48 \pm 28,79$  Pt.Co (Figure 16C). Le cours d'eau Mbouroukou présente des valeurs de couleur fluctuant entre 0 Pt.Co (station Mb1 en février 2021) et 264 Pt.Co (station Mb3 en juillet 2021). Aucune différence significative n'est observée entre les stations, mais plutôt entre les mois de février et mai 2021.

La valeur de la couleur la plus forte a été enregistrée dans l'Egnoki et la plus faible dans le Mbouroukou (Figure 16).



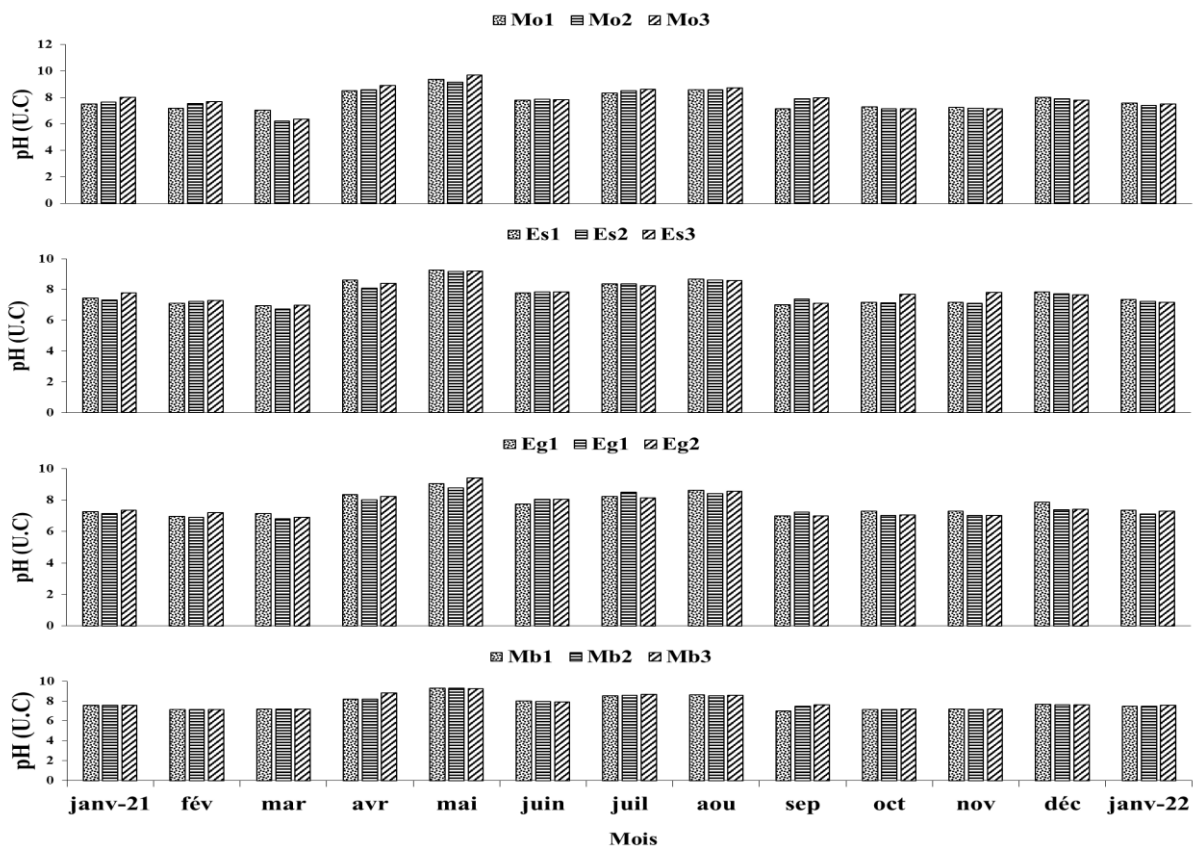
**Figure 16:** Variation spatio-temporelle de la couleur dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. Caractéristiques chimiques

#### III.1.1.4.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du pH dans le Moon varient de 6,2 UC (station Mo 2 au mois mars) à 9,7 UC (station Mo 3 au mois de mai) (Figure 17A). On n'observe aucune différence significative sur le plan spatial, mais plutôt sur le plan temporel entre les mois de mars et de mai 2021. Pour ce qui est des valeurs de pH obtenues dans l'Esoa, elles sont comprises entre 6,73 UC à la station Es2 au mois de mars et 9,25 UC à la station Es1 au mois de mai (figure 17B). Aucune différence significative n'est observée entre les stations, mais plutôt entre les mois de mars et août 2021. Dans l'Egnoki, les valeurs du pH oscillent entre 6,8 UC à la station Eg2 au mois de mars et 9,4 à la station Eg3 au mois de mai (Figure 17C). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre le mois de mars et mai 2021. Les valeurs du pH dans le Mbouroukou fluctuent entre 7,02 UC en septembre à la station Mb1 et 9,3 UC en mai aux stations Mb1 et Mb2 (Figure 17D), des différences significatives ayant été observées entre les mois de février et mai 2021.

La valeur du pH la plus forte et la plus faible ont été enregistrées dans le Moon.

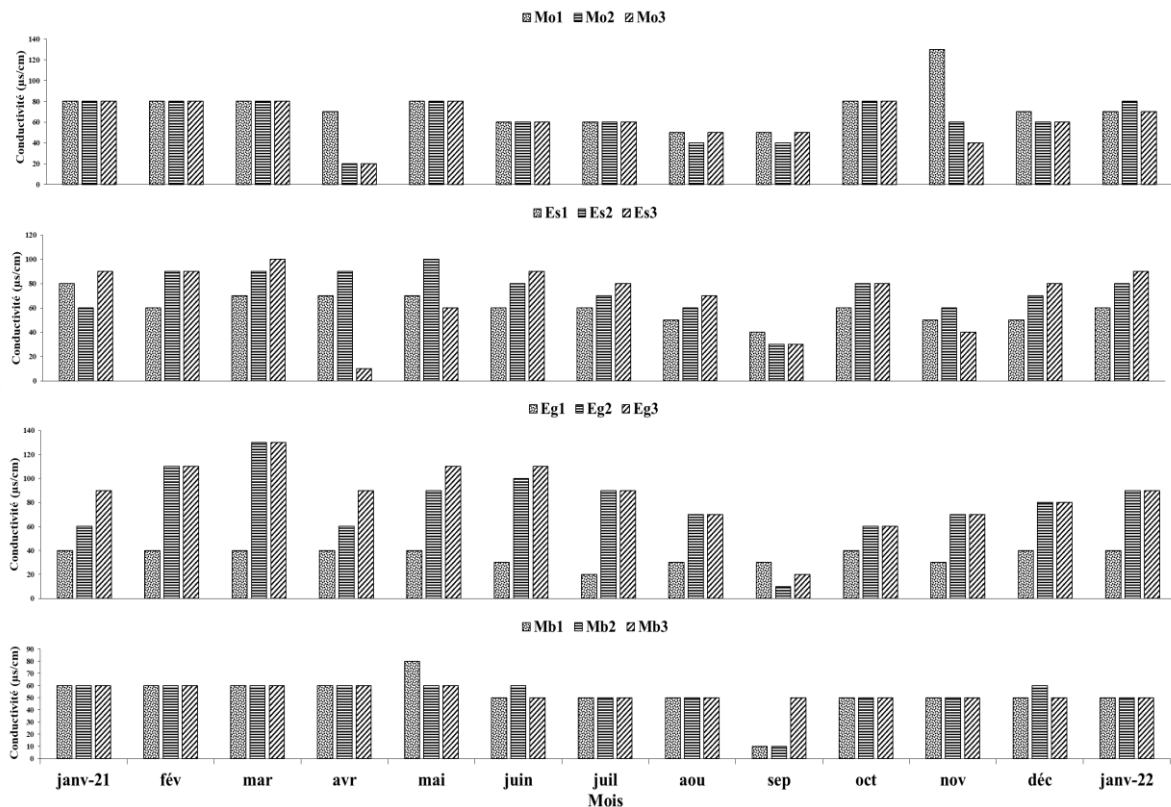


**Figure 17:** Variation spatio-temporelle des valeurs du pH dans les cours d'eau pendant la période d'étude: A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

#### III.1.1.4.2. Conductivité électrique

Dans le Moon, la conductivité électrique a varié entre 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aux stations Mo2 et Mo3 en avril 2021 et 130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à la station Mo1 en novembre 2021 (Figure 18A). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel. Les valeurs de la conductivité électrique dans l'Essoa sont restées dans l'ensemble inférieures à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à tous les points d'échantillonnage et pendant toute la durée de l'étude. Ceci avec une valeur maximale de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue respectivement en mai et mars aux stations Es2 et Es3 et 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au mois d'avril à la station Es3 (Figure 18B). Néanmoins, des différences significatives ont été observées sur le plan spatial entre les stations Es2 et Es3. Dans l'Egnoki, le mois de mars 2021 présente comme dans le Moon des conductivités élevées avec comme valeur maximale 130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mars 2021 aux stations Eg2 et Eg3) et comme valeur minimale 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (septembre 2021 à la station Eg1) (Figure 18C). Les valeurs de conductivité électrique ne diffèrent pas significativement d'un mois à l'autre ( $p = 0,00$  ;  $r = 0,05$ ), mais plutôt d'une station à l'autre. Les valeurs de la conductivité électrique relevées dans le Mbouroukou tournent autour de 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (à la station Mb1 au mois de mai) et 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (aux stations Mb1 et Mb2 au mois de septembre 2021) (Figure 18D). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de mai et septembre.

Les conductivités électriques les plus fortes ont été enregistrées dans le Moon et l'Egnoki et les plus faibles dans l'Essoa et l'Egnoki.



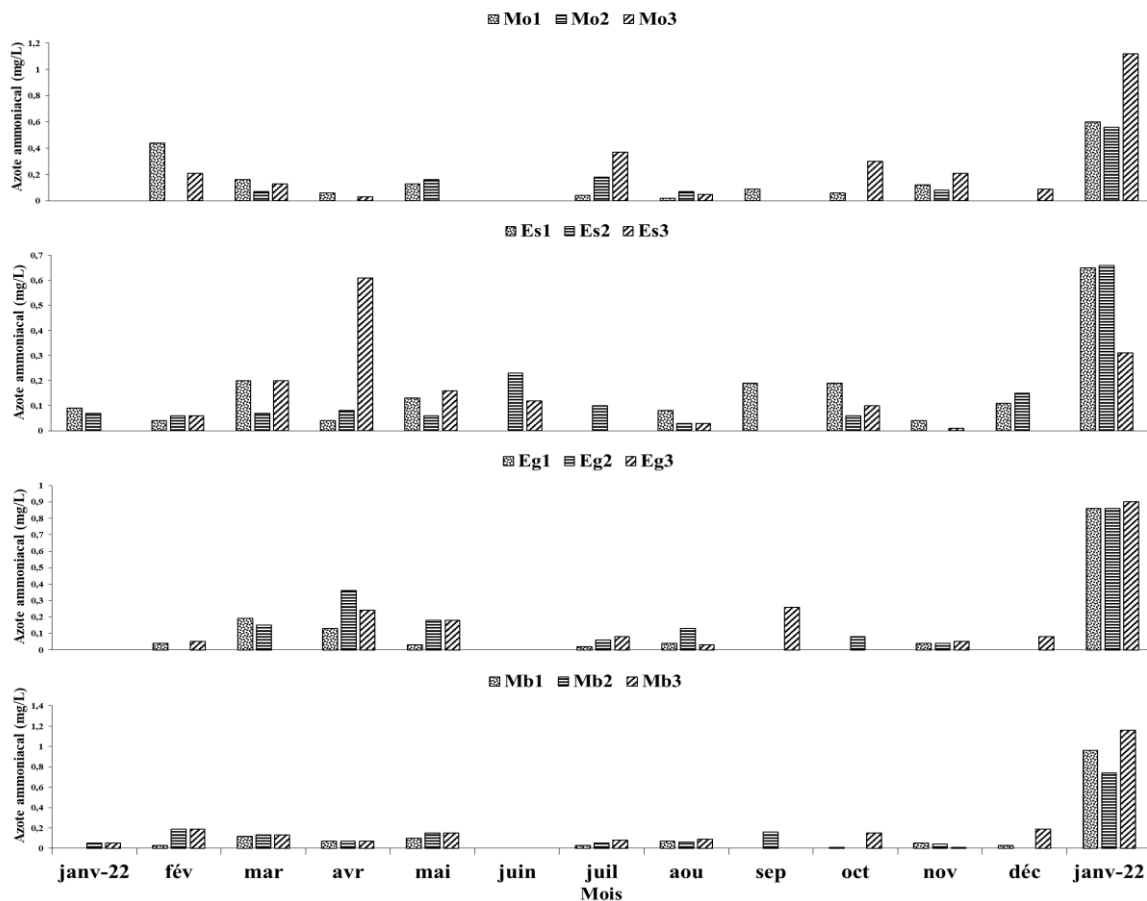
**Figure 18:** Variation spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. 3. Azote ammoniacal

Bien que la plupart des teneurs en azote ammoniacal rencontrées dans le Moon soient inférieures à 0,4 mg/L, des concentrations supérieures à 0,50 mg/L sont enregistrées au mois de janvier 2022 à toutes les stations (Figure 19A). D'après le test de Kruskal-Wallis des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois d'avril 2021 et janvier 2022. Dans l'Esoa, les teneurs moyennes au niveau des trois stations Es1 (0,160 mg/L), Es2 (0,148 mg/L) et Es3 (0,147 mg/L) révèlent globalement une diminution progressive des concentrations en azote ammoniacal de l'amont vers l'aval, avec une moyenne de  $0,126 \pm 0,02$  (Figure 19B). D'après le test de Kruskal-Wallis, aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatio-temporel. Contrairement à l'Esoa, dans l'Egnoki, les teneurs moyennes au niveau des trois stations Eg1 (0,147 mg/L), Eg2 (0,181 mg/L) et Eg3 (0,184 mg/L) révèlent globalement une augmentation des concentrations en azote ammoniacal de l'amont vers l'aval (Figure 19C). Des différences significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées sur le plan temporel entre les mois de janvier et juin 2021. Dans le Mbouroukou, les teneurs en azote

ammoniacal sont globalement comprises entre 0 mg/L (station Mb1 en septembre 2021) et 1,16 mg/L (station Mb3 en janvier 2022), (Figure 19D). Des différences significatives ont été enregistrées sur le plan temporel entre les mois de juin 2021 et janvier 2022.

Les teneurs en Azote ammoniacal sont globalement plus élevées dans les cours d'eau Moon ( $0,137 \pm 0,082$  mg/L), Mbouroukou ( $0,137 \pm 0,097$  mg/L), Egnoki ( $0,130 \pm 0,017$  mg/L) et Esoa ( $0,120 \pm 0,082$  mg/L).



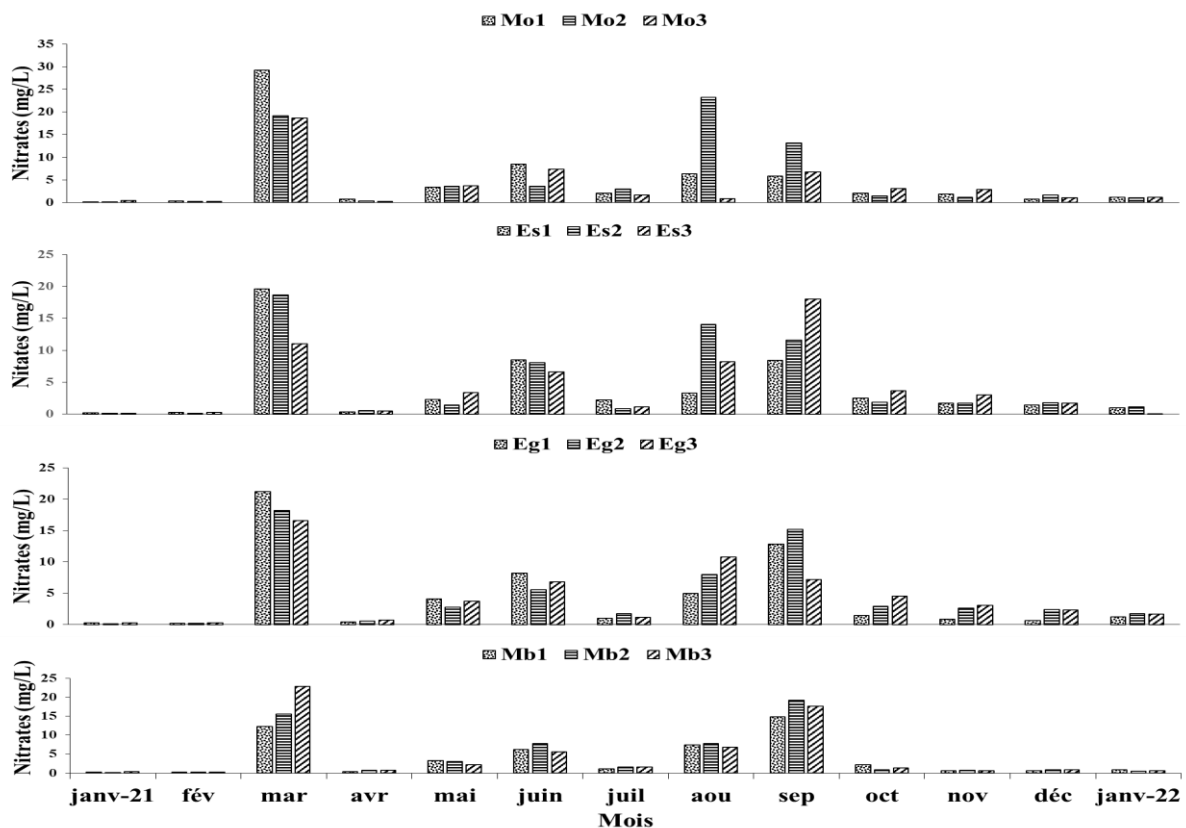
**Figure 19:** Variation spatio-temporelle des teneurs en Azote ammoniacal dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

#### III.1.1.4. 4. Nitrates

Les teneurs en nitrates varient dans le Moon entre 0,11 et 29,2 mg/L à la station Mo1, entre 0,13 et 23,2 mg/L à la station Mo2, et entre 0,24 et 18,7 mg/L à la station Mo3 (Figure 20A). Ces teneurs n'ont connu aucune différence significative d'une station à l'autre, mais plutôt d'un mois à l'autre notamment les mois de janvier et mars 2021. Avec des moyennes de 4,78 mg/L, 5,39 mg/L et 5,05 mg/L obtenues respectivement en Es1, Es2 et Es3, les teneurs en nitrates sont globalement plus élevées dans le Moon que dans l'Esoa. Ces teneurs augmentent

de la station Es1 à la station Es2 pour diminuer à la station Es3 (Figure 20 B). Aucune différence significative n'a été observée entre les stations, mais plutôt entre les mois de janvier et mars 2021 ( $p < 0,05$ ). Dans l'Egnoki, les concentrations en nitrates fluctuent entre 0,16 mg/L (station Eg2 en janvier 2021) et 21,2 mg/L (station Eg1 en mars 2021) (Figure 20 C). Il n'existe aucune différence significative entre les stations, mais plutôt entre les mois de février et mars 2021. Dans le Mbouroukou, les concentrations en nitrates n'ont montré aucune différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ), mais plutôt d'un mois à l'autre notamment les mois de février et septembre 2021. Ces teneurs se situent entre 0,23 et 14,8 mg/L (février et septembre), 0,17 et 17,2 mg/L (janvier et septembre) et 0,26 et 22,9 mg/L (février et mars) respectivement dans les stations Mb1, Mb2 et Mb3 (Figure 20 D). Toutefois, La station Mb3 avec des teneurs atteignant parfois 22,9 mg/L semble montrer les valeurs les plus élevées.

La teneur la plus élevée a été obtenue dans le cours d'eau Moon et la plus faible dans le cours d'eau Esoa.

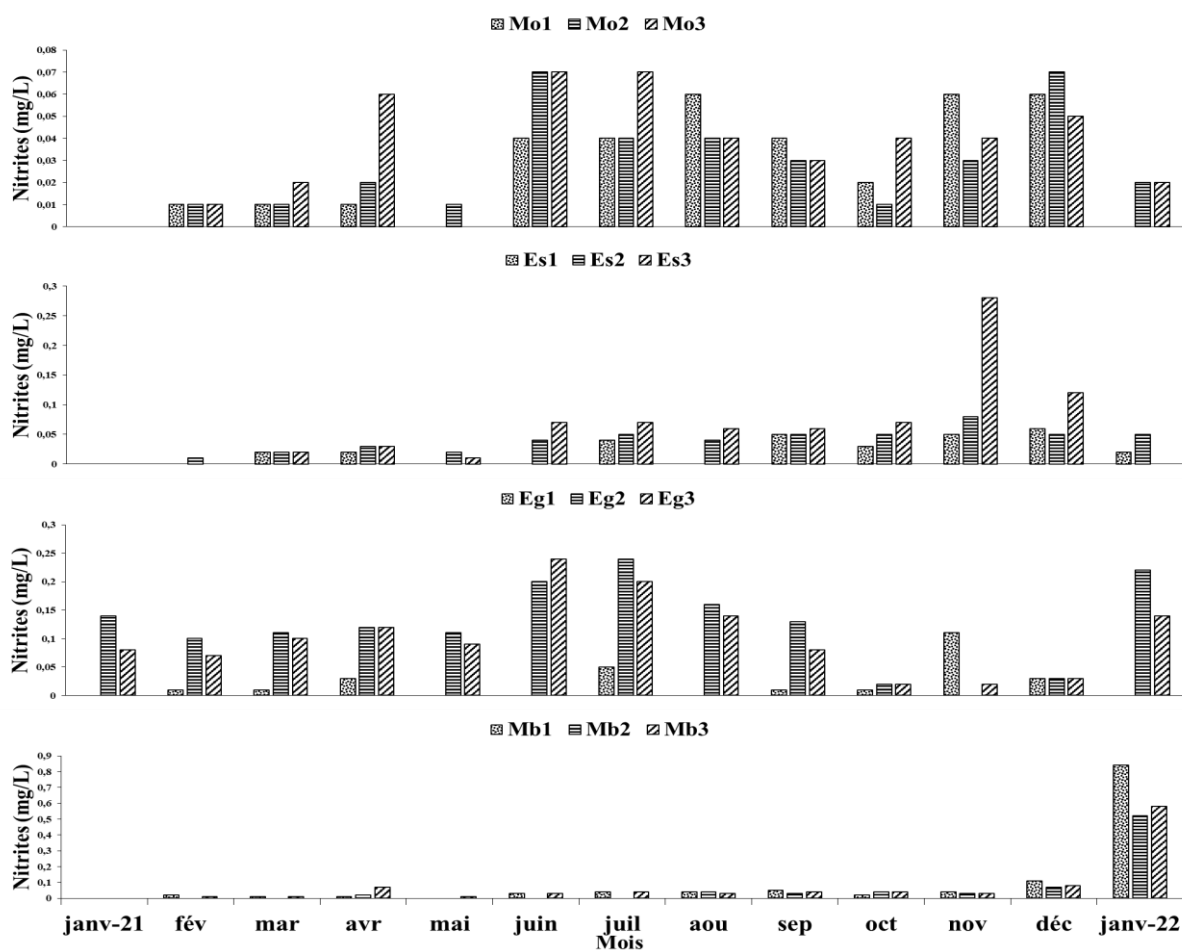


**Figure 20:** Variation spatio-temporelle des teneurs en Nitrates des différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

#### III.1.1.4. 5. Nitrites

Dans le Moon, exceptés les mois de juin 2021 à la station Mo2 et de décembre 2021 à la station Mo3, où la concentration maximale de 0,07 mg/L a été enregistrée, les autres mois présentent des valeurs inférieures à 0,07 mg/L (Figure 21 A). Par ailleurs, les teneurs en nitrites augmentent de l'amont vers l'aval. Ainsi, des différences significatives ont été observées entre les mois janvier et décembre 2021 ( $p < 0,05$ ). Dans l'Esoa, les teneurs en nitrites sont restées inférieures à 0,08 mg/L à toutes les stations durant l'étude. L'exception est faite à la station Es1 au mois de novembre 2021 où une teneur en nitrites de 0,28 mg/L est observée (Figure 21 B). Aucune différence significative n'a été observée entre les stations mais plutôt entre les mois janvier et décembre 2021. Bien que des teneurs maximales de 0,11 (novembre 2021), et 0,24 (juin et juillet 2021) mg/L soient obtenues respectivement aux stations Eg1, Eg2 et Eg3, l'essentiel des valeurs de nitrites dans l'Egnoki se situe en-dessous de 0,2 mg/L (Figure 21 C). Toutefois, des différences significatives ont été observées entre les stations Eg1 et Eg2 de l'Egnoki ( $p < 0,05$ ). Dans le Mbouroukou, au niveau de la station Mb1, les teneurs en nitrites se situent en-dessous de 0,06 mg/L, hormis le mois de décembre 2021 où une teneur de 0,11 mg/L a été observée. Au niveau des stations Mb2 et Mb3, ces teneurs sont essentiellement comprises entre 0 et 0,08 mg/L (Figure 21 D). Aucune différence significative n'a été observée entre les stations ( $p < 0,05$ ), mais plutôt entre les mois de janvier et décembre 2021.

Ainsi, les concentrations en nitrites les plus faibles ont été enregistrées dans le Moon et les plus fortes obtenues dans l'Egnoki.



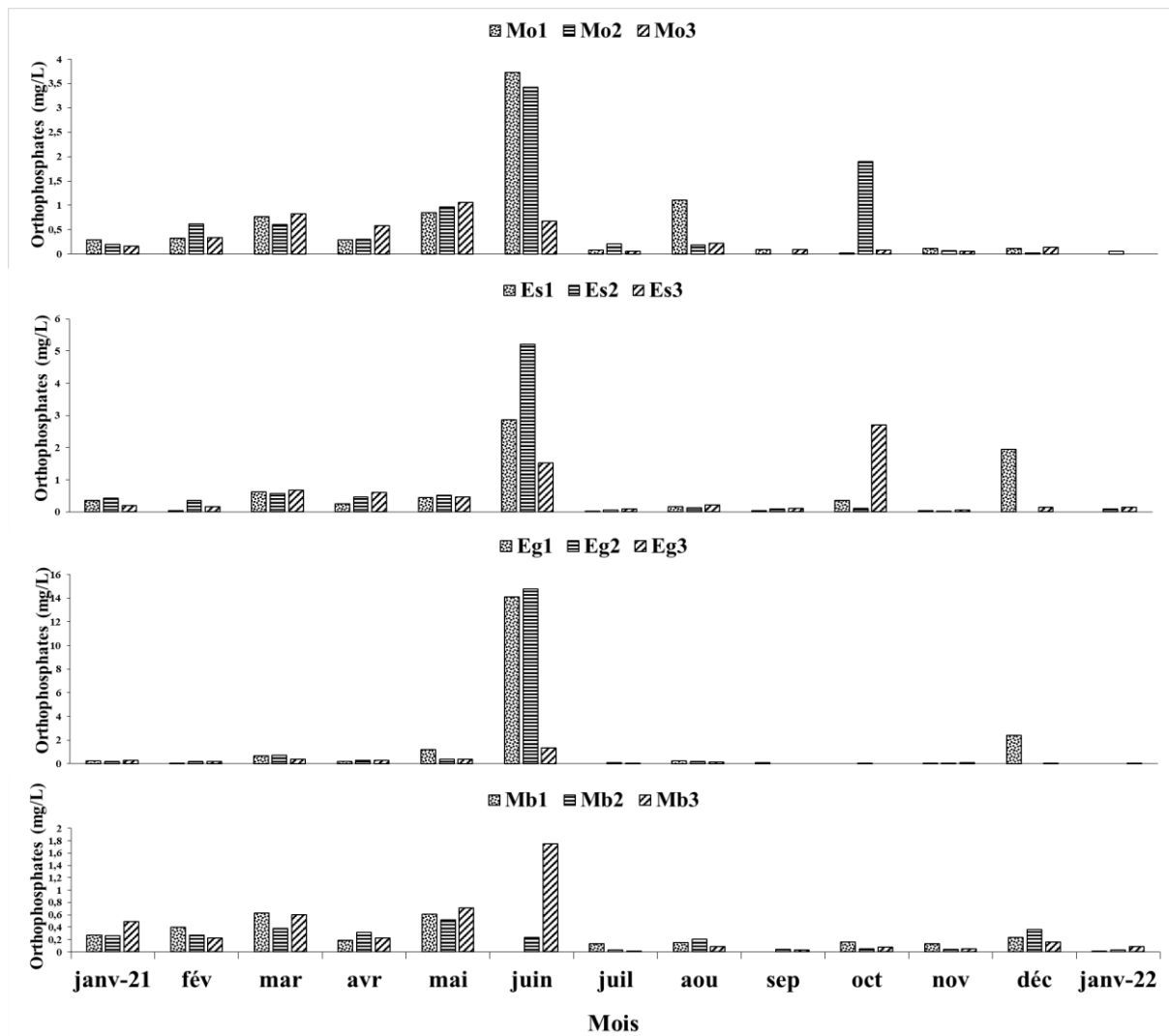
**Figure 21:** Variation spatio-temporelle des teneurs en Nitrite dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. 6. Orthophosphates

Dans le cours d'eau Moon, le profil de variation des teneurs de l'eau en orthophosphates oscille entre 0 mg/L (stations Mo1, Mo2 et Mo3 respectivement en janvier 2022, septembre 2021 et janvier 2022) et 3,72 mg/L (station Mo1 en juin 2021), pour une moyenne de  $0,366 \pm 0,078$  mg/L (Figure 22 A). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de janvier et juin 2021. Dans le cours d'eau Esoa, ces valeurs varient de 0 mg/L (stations Es1 et Es2 en janvier 2022 et décembre 2021) à 5,2 mg/L (station Es2 en juin 2021) (Figure 22 B). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de juin et novembre 2021. L'examen des concentrations en orthophosphates dans le cours d'eau Egnoki semble montrer que la plus forte teneur est notée dans le cours moyen ( $2,25 \pm 1,53$  mg/L). Ces teneurs baissent progressivement dans le rhitron, où des valeurs inférieures à 2 mg/L ont été enregistrées (Figure 22 C). Aucune différence significative n'a été observée d'une station à l'autre ( $p = 0,854$  ;  $r = 0,05$ ), mais plutôt sur le plan temporel entre les mois de janvier et juin 2021. Dans le cours d'eau Mbouroukou, les valeurs évoluent de 0 mg/L (station Mb1 en

juin et septembre 2021) et 1,75 mg/L (station Mb3 en juin 2021) (Figure 22 D). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de juin 2021 et janvier 2022 ( $p < 0,05$ ).

En outre, les teneurs en orthophosphates les plus fortes ont été enregistrées dans l'Egnoki et les plus faibles dans le cours d'eau Esoa.



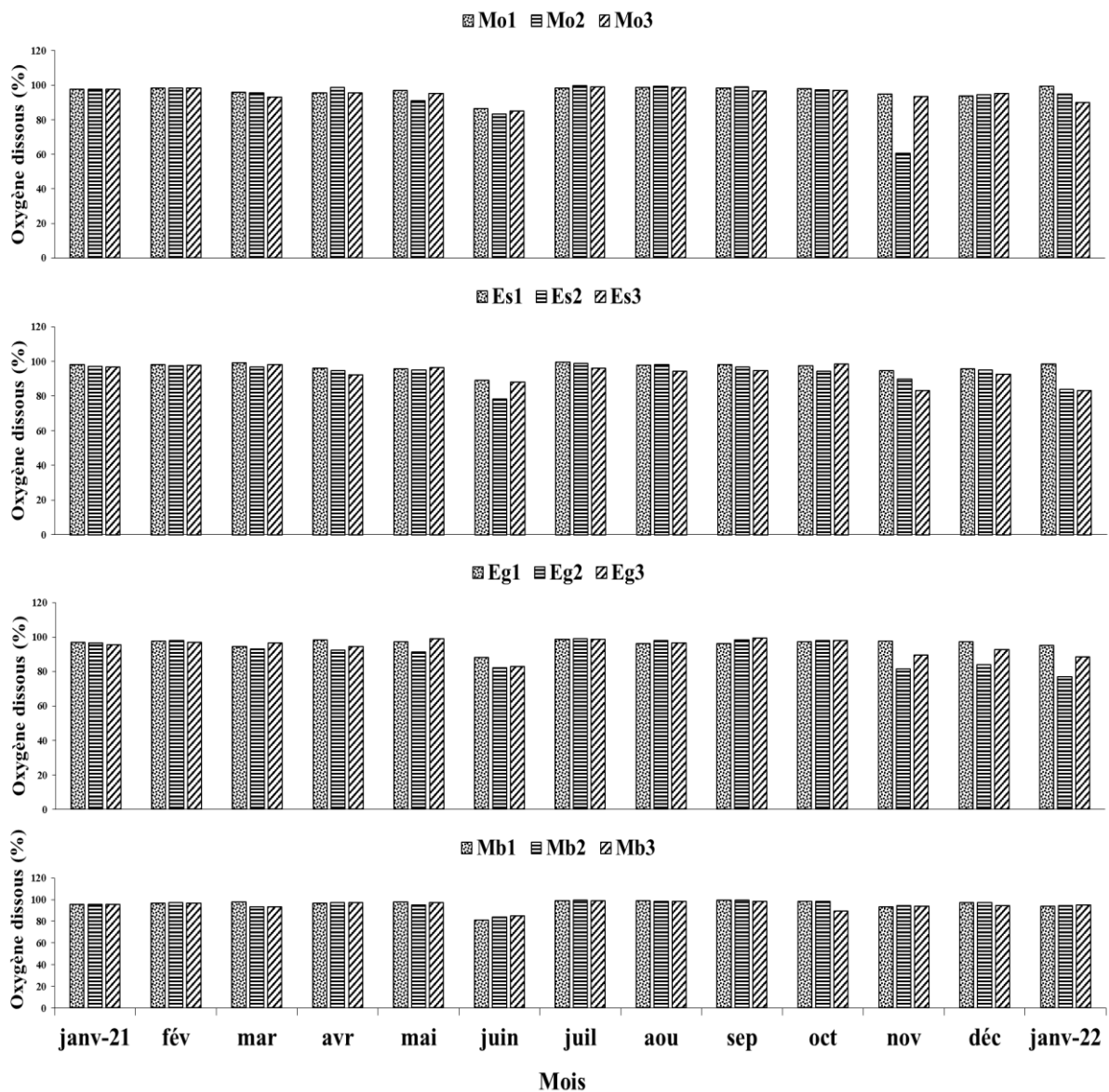
**Figure 22 :** Variation spatio-temporelle des teneurs en Orthophosphate dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

#### III.1.1.4.7. Oxygène dissous

Dans le Moon, la teneur en oxygène dissous oscille entre 99,07% en juillet à Mo2 et 60,7% en novembre à Mo2 (Figure 23 A). Des différences significatives ont été observées entre les mois de juin et juillet 2021. Le pourcentage de saturation en oxygène dissous des eaux de l'Esoa varie de 99,39% au mois de juillet 2021 à la station Es1 à 78,37% à la station Es2 au mois de juin 2021 (Figure 23 B). Toutefois, des différences significatives ont été observées

entre les mois de juin et juillet 2021 ( $p < 0,05$ ). Dans l'Egnoki, la saturation en oxygène dissous varie de 99,47% en septembre à Eg3 à 76,9% en janvier 2022 à Eg2 (Figure 23 C). Des différences significatives ont été observées entre les mois de juin et juillet 2021 ( $p < 0,05$ ). Le cours d'eau Mbouroukou présente des valeurs fluctuant entre 99,72% (en juillet à Mb2) et 81,35% (en juillet à Mb1) (Figure 23 D) avec des différences significatives sur le plan temporel notamment entre le mois de juin et juillet 2021. ( $p < 0,05$ ).

Ainsi, le Mbouroukou et le Moon présentent des eaux plus oxygénées avec des valeurs moyennes de saturation respectives de 95,51% et 94,74%.

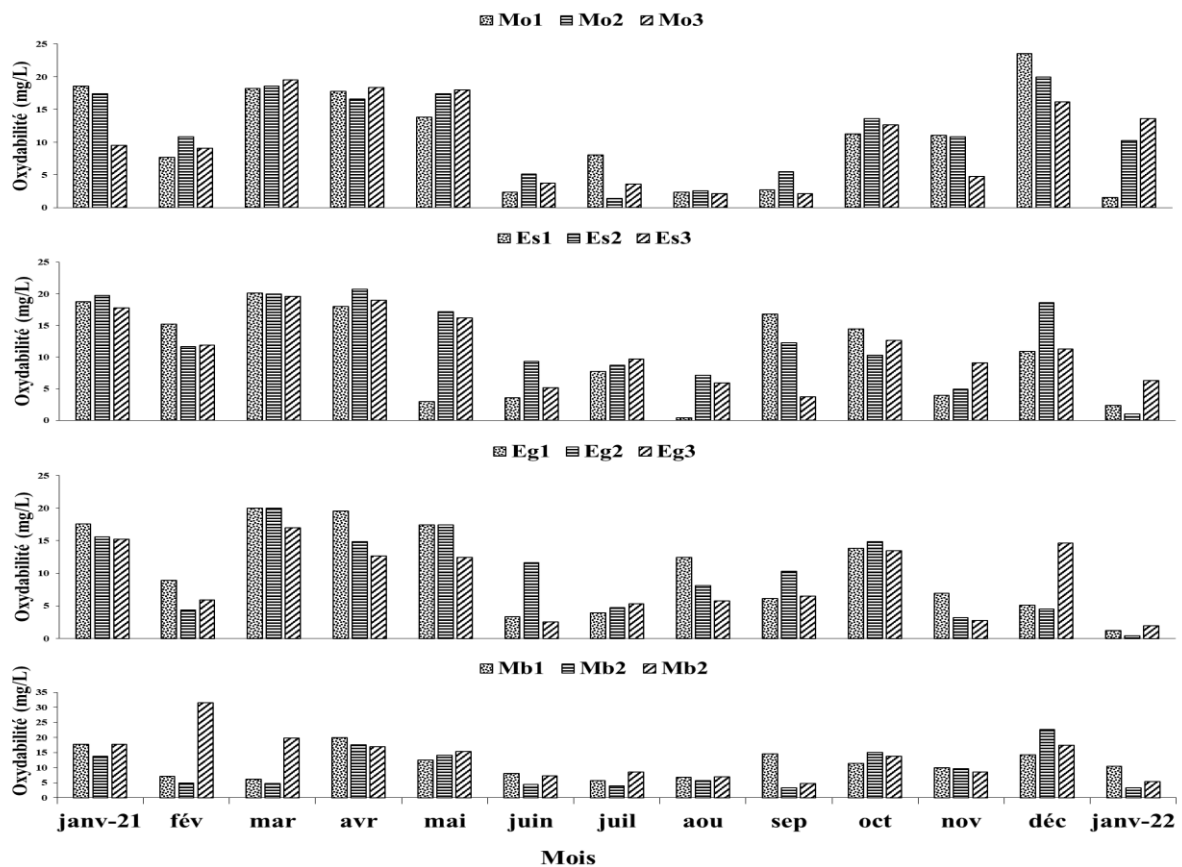


**Figure 23:** Variation spatio-temporelle des teneurs en Oxygène dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D =Mbouroukou.

### III.1.1.4.8. Oxydabilité

Dans le Moon, les valeurs de l'oxydabilité sont comprises entre 2,37 et 23,5 mg/L à la station Mo1. Aux stations Mo2 et Mo3, ces valeurs sont comprises respectivement entre 1,48 et 19,94 mg/L et entre 2,17 et 19,55 mg/L (Figure 24 A). Toutefois, des différences significatives ont été observées entre les mois de mars et août 2021 ( $p < 0,05$ ). Dans l'Esoa, l'essentiel des valeurs de l'oxydabilité se situe entre 0,39 et 20,73 mg/L en août à Es1 et en avril à Es2 (Figure 24 B). Ces valeurs diffèrent significativement entre les mois de mars 2021 et janvier 2022 ( $p < 0,05$ ). Les valeurs d'oxydabilité dans l'Egnoki sont comprises entre 0,39 et 19,94 mg/L en janvier 2022 à Eg2 et en mars à Eg1 et Eg2 (Figure 24 C). Les teneurs en oxydabilité montrent des variations significatives entre les mois de janvier et mars 2021 ( $p = 0,002$  ;  $r = 0,05$ ). L'oxydabilité varie dans le Mbouroukou entre 3,3 mg/L (janvier 2022 à Mb1) et 31,6 mg/L (février 2021 à Mb3) (Figure 24 D) avec des différences significatives sur le plan temporel entre les mois de janvier et avril 2021 ( $p = 0,039$  ;  $r = 0,05$ ).

En outre, les plus fortes valeurs d'oxydabilité ont été obtenues dans l'Esoa et les plus faibles dans l'Egnoki.

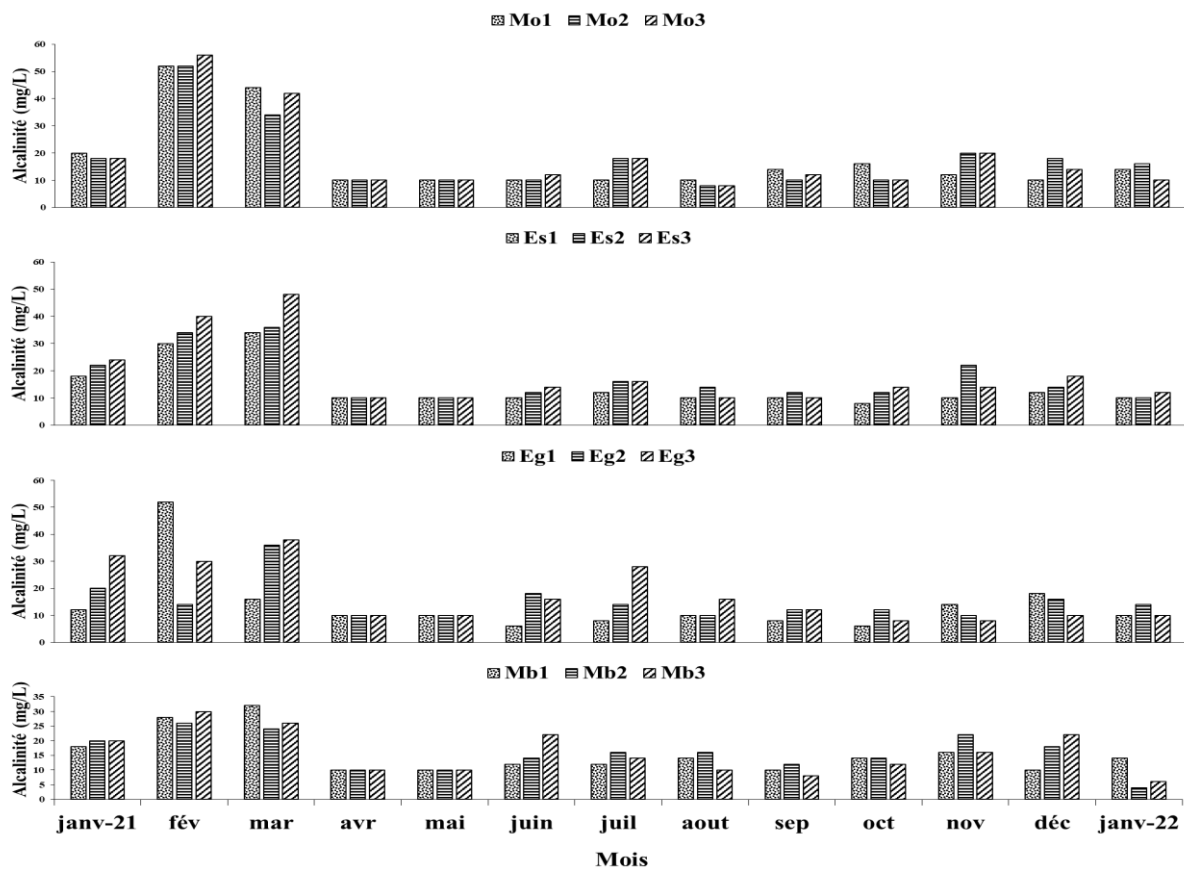


**Figure 24:** Variation spatio-temporelle des valeurs de l'Oxydabilité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. 9. Alcalinité

Dans le Moon, les valeurs de l'alcalinité sont très faibles et comprises entre 8 mg/L (août 2021 aux stations Mo2 et Mo3) et 56 mg/L (février 2021 à la station Mo3) (Figure 25 A). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de février et août 2021 ( $p = 0,002$  ;  $r = 0,05$ ). Les valeurs de l'alcalinité enregistrées dans les stations du cours d'Esoa varient de 8 mg/L (octobre 2021 à la station Es1) à 48 mg/L (mars 2021 à la station Es3) (Figure 25 B), avec des différences significatives sur le plan temporel ( $p = 0,004$  ;  $r = 0,05$ ). Dans les stations du cours d'Egnoki, les valeurs de l'alcalinité fluctuent autour d'une moyenne de  $15,48 \pm 3,05$  (Figure 25 C), aucune différence significative n'ayant été observée sur le plan spatiotemporel. Au niveau du Mbouroukou, les valeurs de l'alcalinité oscillent entre 4 mg/L (janvier 2022 à la station Mb2) et 32 mg/L (mars 2021 à la station Mb1) (Figure 25 D). Le test H de Kruskal-Wallis montre une différence significative entre les mois de janvier et février 2021 ( $p = 0,003$  ;  $r = 0,05$ ).

Les plus fortes valeurs de l'alcalinité ont été obtenues dans le Moon et les plus faibles dans l'Egnoki.

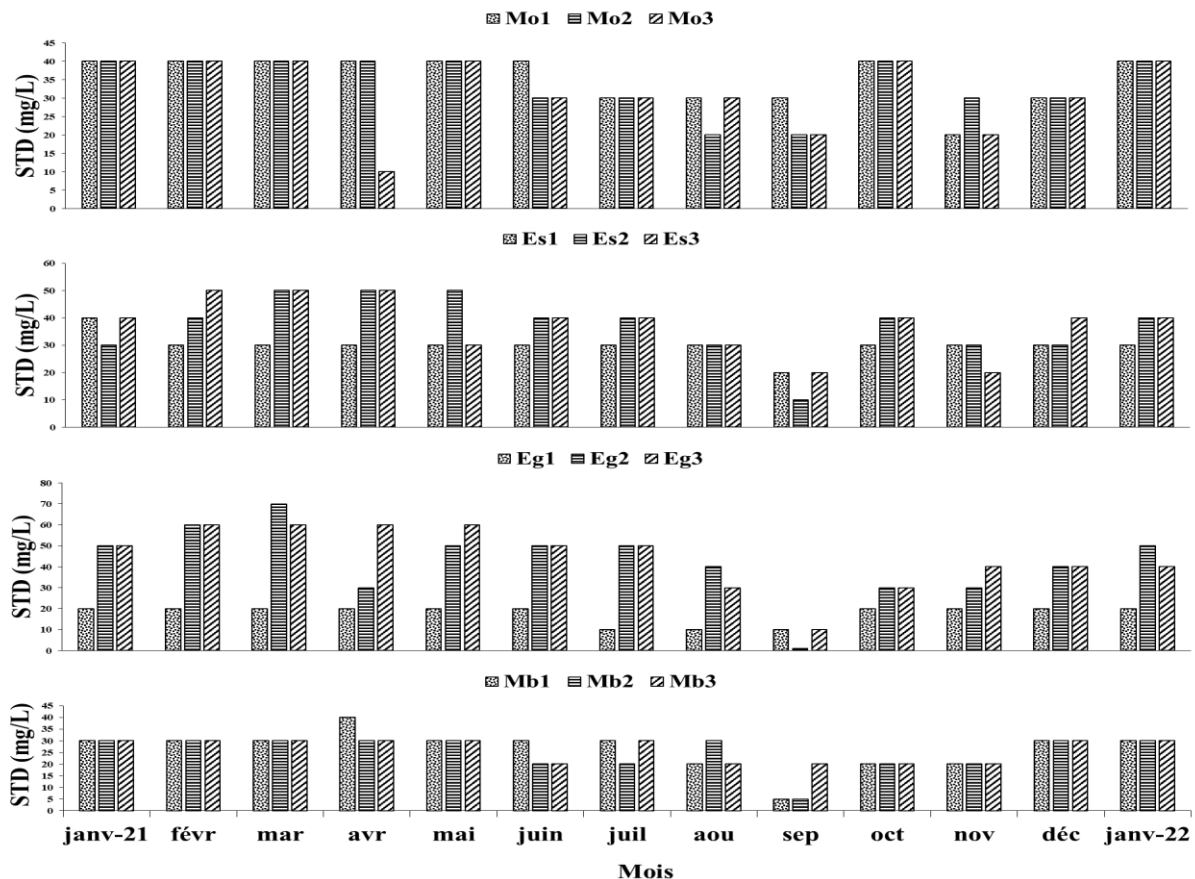


**Figure 25:** Variations spatio-temporelle des valeurs de l'alcalinité dans les différents cours d'eau pendant la durée de l'étude : A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. 10. Solides Totaux Dissous (STD)

Dans le Moon, les valeurs de STD sont très faibles et comprises entre 10 mg/L (avril 2021 à la station Mo3) et 70 mg/L (novembre 2021 à la station Mo1) (Figure 26 A). Des différences significatives ont été observées sur le plan temporel entre les mois de janvier et novembre 2021 ( $p = 0,023$  ;  $r = 0,05$ ). Dans le cours d'eau Esoa, les valeurs de STD fluctuent autour d'une moyenne de 30 mg/L (station Es1) et 36 mg/L (station Es2) (Figure 26 B). D'après le test de Kruskal-Wallis aucune différence significative n'a été observée sur le plan spatio-temporel. Dans le cours d'eau Egnoki, les STD présentent des valeurs oscillant entre 5 mg/L (septembre 2021 à la station Eg2) et 70 mg/L (février 2021 à la station Eg2) (Figure 26 C). Cependant, des différences significatives ont été observées entre les stations Eg 2 et Eg 3 ( $p < 0,05$ ). Le Mbouroukou a des valeurs de STD fluctuant entre 5 mg/L (septembre 2021 à la station Mb1) et 40 mg/L (avril 2021 à la station Mb1) (Figure 26 D), avec des différences significatives sur le plan temporel entre les mois de mai et septembre 2021 ( $p < 0,05$ ).

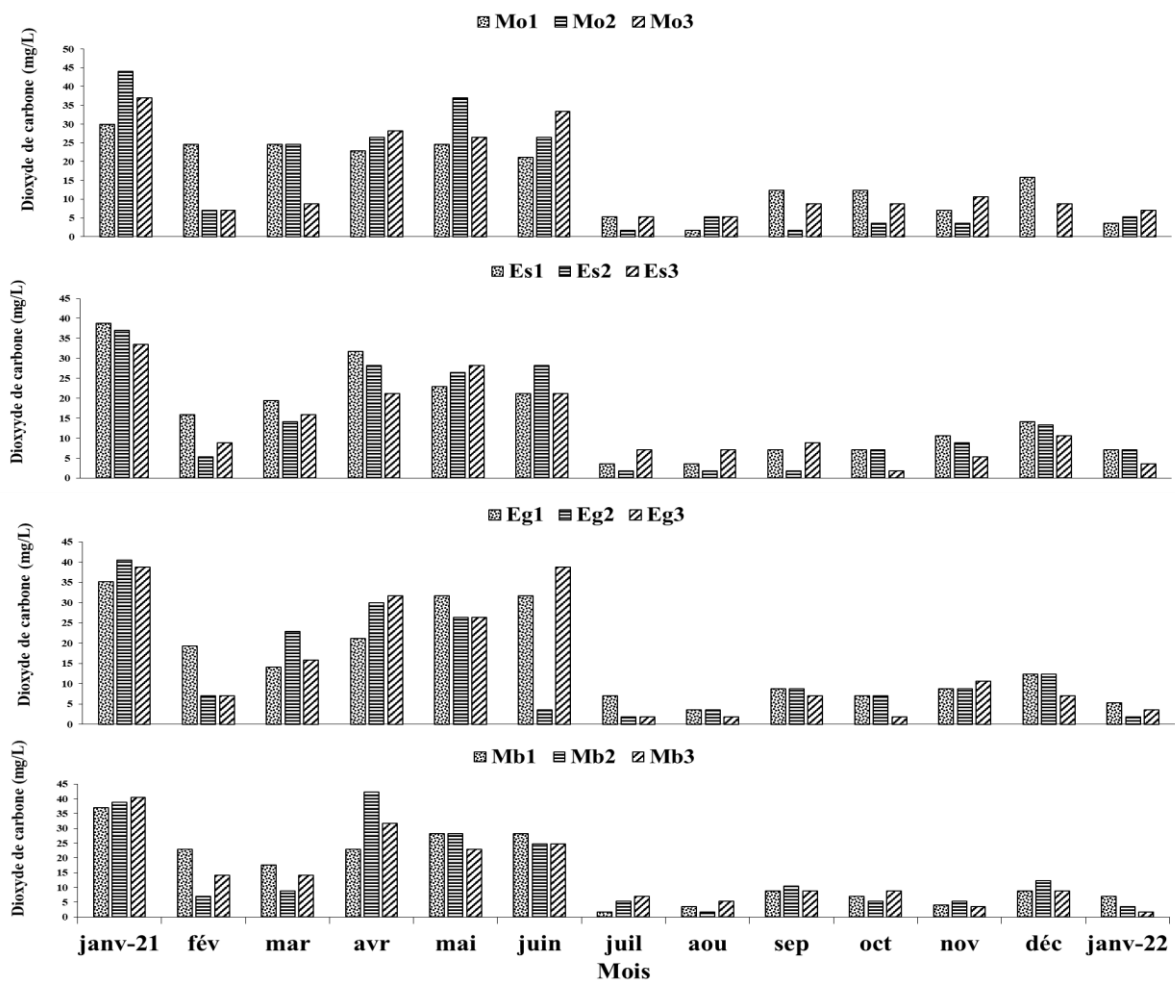
Les plus fortes valeurs des TDS ont été obtenues dans le Moon et l'Egnoki.



**Figure 26:** Variation spatio-temporelle des valeurs de Solides Totaux Dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.4. 11. Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

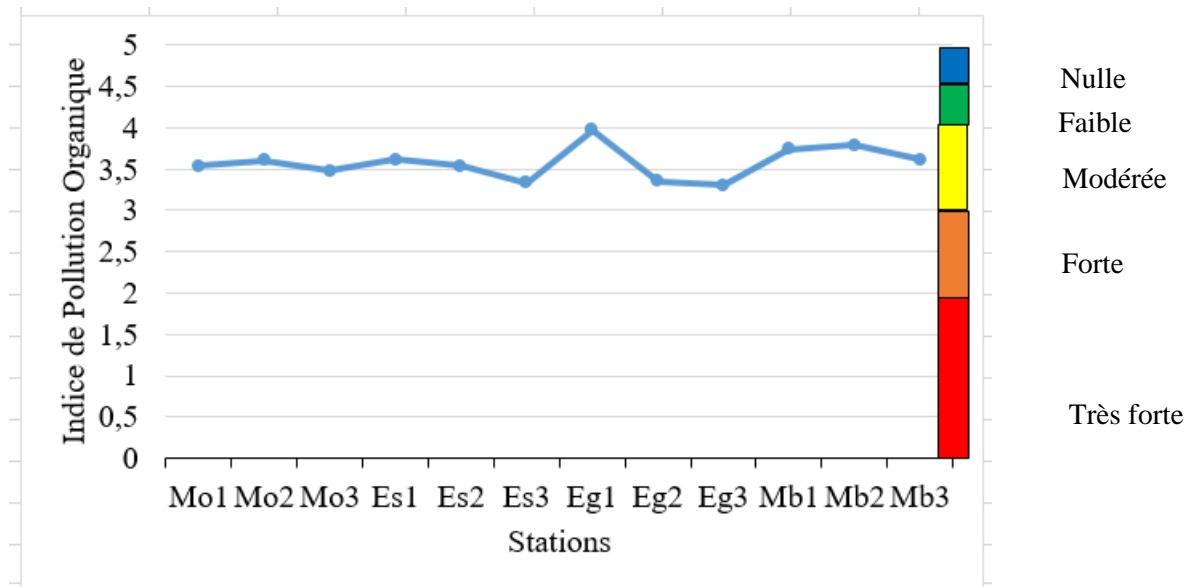
La teneur en dioxyde de carbone dans le Moon varie de 0 mg/L (décembre 2021 à la station Mo2) à 36,9 mg/L (janvier 2021 à la station Mo3) (Figure 27 A), avec des différences significatives sur le plan temporel entre les mois d'août et janvier 2021 ( $p < 0,05$ ). Dans l'Esoa, la teneur en CO<sub>2</sub> est comprise entre 16,30 mg/L (station Es1) et 13,84 mg/L de moyenne (station Es3) (Figure 27 B), avec des différences significatives sur le plan temporel entre août et janvier 2021 ( $p < 0,05$ ). L'Egnoki présente des valeurs de CO<sub>2</sub> oscillant entre une moyenne de 14,43 mg/L (station Eg2) et 16,30 mg/L (station Eg1) (Figure 27 C), avec des différences significatives sur le plan temporel entre juillet et janvier 2021 ( $p = 0,002$  ;  $r = 0,05$ ). Quant au Mbouroukou, ses teneurs en CO<sub>2</sub> fluctuent entre 1,76 mg/L (juillet 2021 à la station Mb1, août 2021 station à la Mb2 et janvier 2022 à la station Mb3) et 42,24 mg/L (août 2021 à la station Mb2) (Figure 27 D), avec des différences significatives sur le plan temporel entre août et janvier 2021 ( $p = 0,001$  ;  $r = 0,05$ ).



**Figure 27:** Variation spatio-temporelle des teneurs en Dioxyde de carbone dans les différents cours d'eau pendant l'étude. A = Moon, B = Esoa, C = Egnoki, D = Mbouroukou.

### III.1.1.5. Qualité des eaux sur la base des indices calculés

L'IPO présente des valeurs qui oscillent entre 2,33 (pollution forte) aux stations Es1, Es3, Eg2 et Eg3 (aux mois de juin, octobre et décembre 2021) et 4,66 (pollution faible) aux stations Mo1, Es1, Eg1 et Mb2 (aux mois de janvier 2022, février et octobre 2021) (Figure 28). Ainsi, les eaux sont donc considérées de pollution organique faibles à modérée sur l'ensemble des stations d'échantillonnage au cours de la période d'étude.



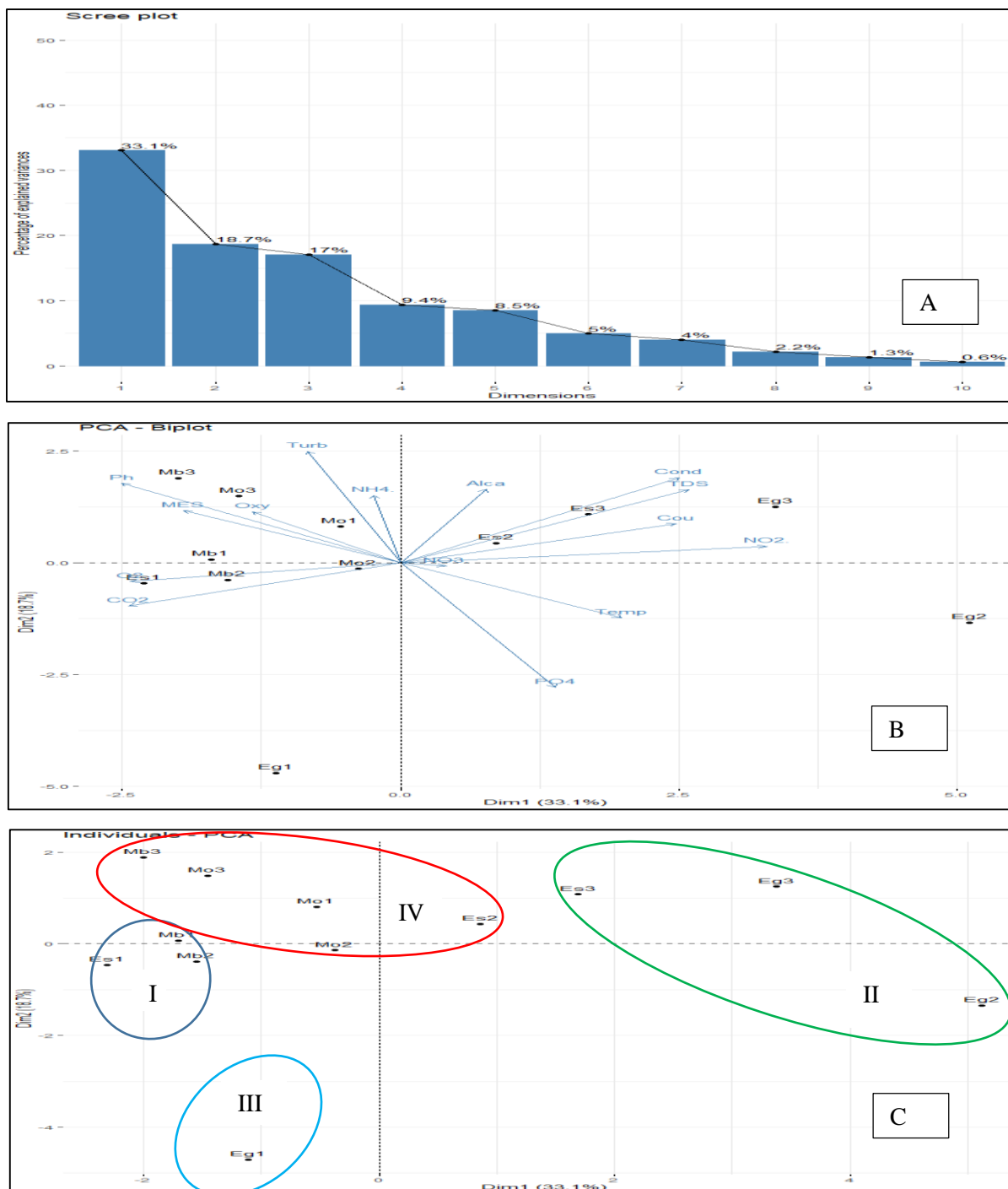
**Figure 28:** Variation des valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) dans les cours d'eau étudiés.

### III.1.1.6. Analyse en Composantes Principales des paramètres physico-chimiques

Une ACP a été effectuée à partir des variables physico-chimiques obtenues au niveau des 12 stations. L'essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes Dim (33,1 %) et F2 (15,7 %) qui cumulent 51,8 % de l'inertie totale (Figure 29A).

Sur la matrice de corrélation (Figure 29 B), la couleur (Coul), les nitrites ( $\text{NO}_2$ ), la conductivité électrique (Cond), les solides totaux dissous (TDS) sont d'une part, significativement et positivement corrélés entre eux et d'autre part, significativement et positivement corrélés à l'axe Dim1. De même, le pH, l'oxygène dissous ( $\text{O}_2$ ), les matières en suspension (MES), et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) sont significativement et positivement corrélés entre eux, et négativement corrélés à l'axe F1 et au précédent groupe de variables. Concernant l'axe Dim2, la turbidité (turb) est positivement et significativement corrélée à cet axe. Les Orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont significativement et négativement associés à l'axe Dim2. Par ailleurs, les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), l'alcalinité (alca), la température (temp), l'oxydabilité (oxy) et l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) ne sont pas significativement liés à ces deux axes.

La carte factorielle (Figure 29 C) présente une distribution des 12 stations d'échantillonnage relative à leurs caractéristiques physico-chimiques. Trois grands groupes de stations se dégagent dans ce plan factoriel. L'axe Dim1 discrimine en coordonnées négatives les stations ES1, Mb1 et Mb2 (groupe I). L'axe Dim1 isole également, mais dans sa partie positive, les stations Es3, Eg2 et Eg3 (groupe II). L'axe Dim2 n'isole aucune station en coordonnées positives, mais la station Eg1 (groupe III) située dans sa partie négative. Les stations Mo1, Mo2, Mo3, Es1, Es2 et Mb3 (groupe IV) ne sont pas significativement liées à ces deux dimensions.



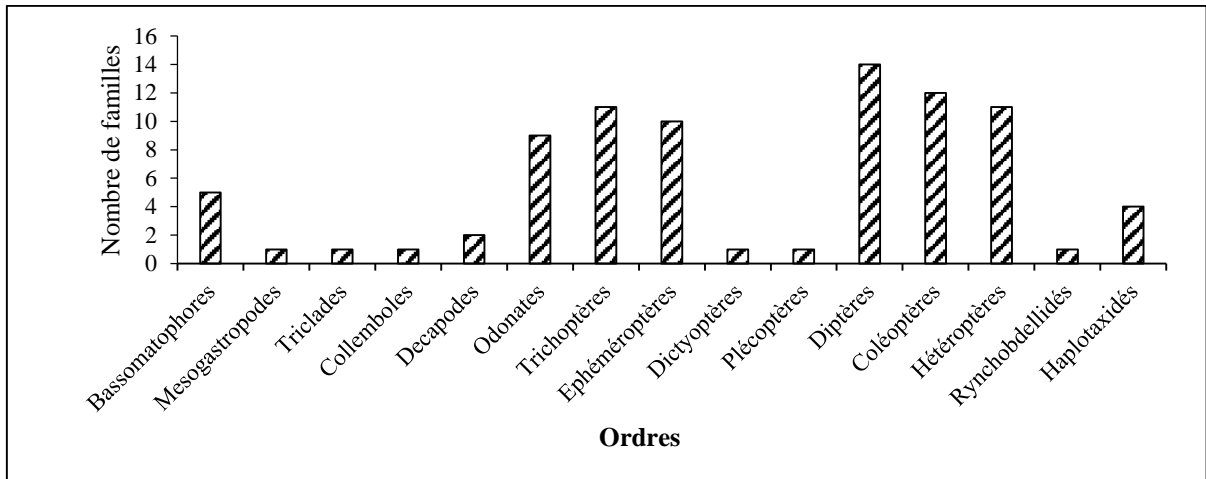
**Figure 29:** Résultat de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des variables Physico-chimiques des différentes stations pendant la période d'étude : (A) Histogramme des valeurs propres, (B) de corrélation entre les variables et les axes factoriels Dim1 et Dim2 ; (C) Biplot montrant la distribution des stations relativement à leurs caractéristiques abiotiques dans le plan factoriel Dim1 X Dim2.

### **III.1.2. Diversité des macroinvertébrés benthiques dans chaque cours d'eau**

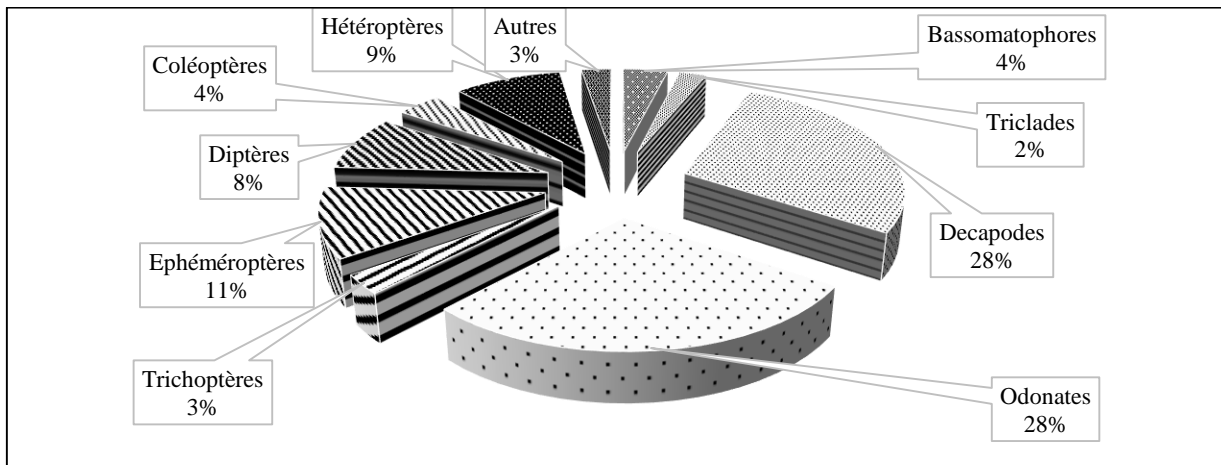
#### **III.1.2.1. Richesse taxonomique et abondance des macroinvertébrés benthiques dans l'ensemble des cours d'eau**

Au cours de cette étude, 156 échantillons ont été collectés dans les différentes stations pendant 13 mois pour un total de 19219 organismes. Un total de 84 familles dont 85,71% appartenant à l'embranchement des Arthropodes, 7,14% à celui des Mollusques, 5,95% à l'embranchement des Annélides et 1,19% à l'embranchement des Plathelminthes a été récolté. Ces individus sont répartis en 06 classes, 16 ordres et 185 genres. L'embranchement des Arthropodes est constitué de 72 familles réparties en 3 classes (Crustacés, Insectes et Collembolés) et 10 ordres. L'embranchement des Mollusques comprend la classe des Gastéropodes avec 2 ordres et 6 familles et l'embranchement des Annélides 2 classes (Achéates, Oligochètes), 3 ordres et 5 familles. L'embranchement des Plathelminthes est composé d'une classe, un ordre et une famille. Des 84 familles recensées dans tous les embranchements, 14 appartiennent à l'ordre des Diptères, 12 à l'ordre des Hétéroptères et des Coléoptères. Les Trichoptères, les Ephéméroptères et les Odonates comptent respectivement 11, 10 et 9 familles. Les Basommatophores et les Haplotaxidés comptent chacun 5 et 4 familles. Alors que les Mésogastropodes, les Triclades, les Symphypleona, les Dictyoptères, les Plécoptères et les Rhynchobdellidés totalisent chacun 1 famille (Figure 30). L'ordre des Décapodes est constitué d'une famille.

En termes d'abondance, un total de 19219 individus dont 17746 Arthropodes (92,33%), 809 Mollusques (4,20%), 209 Annélides (1,08%) et 455 Plathelminthes (2,36%) ont été dénombrés dans les quatre cours d'eau étudiés. L'ordre des Décapodes domine avec 5402 spécimens soit 28,10% d'abondance relative (Figure 31), suivi de celui des Odonates qui totalisent 5374 individus soit 27,96% d'abondance relative, des Ephéméroptères avec une abondance relative de 10,72%, des Hétéroptères et des Diptères avec des abondances relatives respectives de 9,29% et 8,48%. Les autres ordres, ne représentent que 15,45% d'abondance relative.



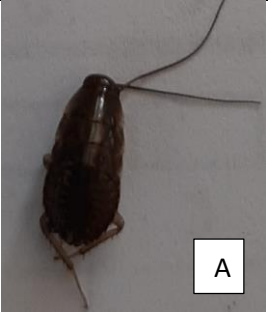
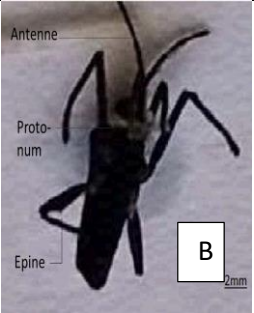

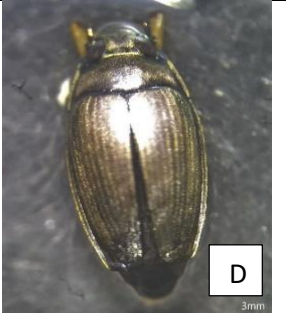


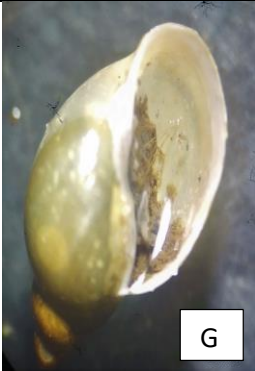





**Figure 30:** Richesse taxonomique des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau pendant la période d'étude.

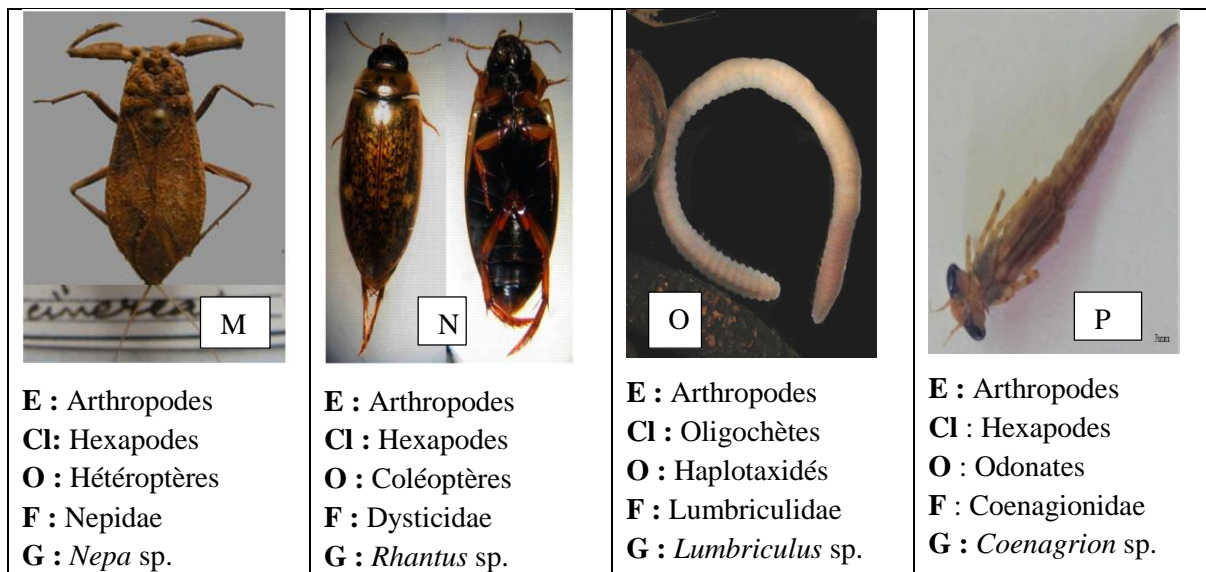


**Figure 31:** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau pendant la période d'étude.

Le tableau VIII montre quelques macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.

**Tableau VIII** : Quelques macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.

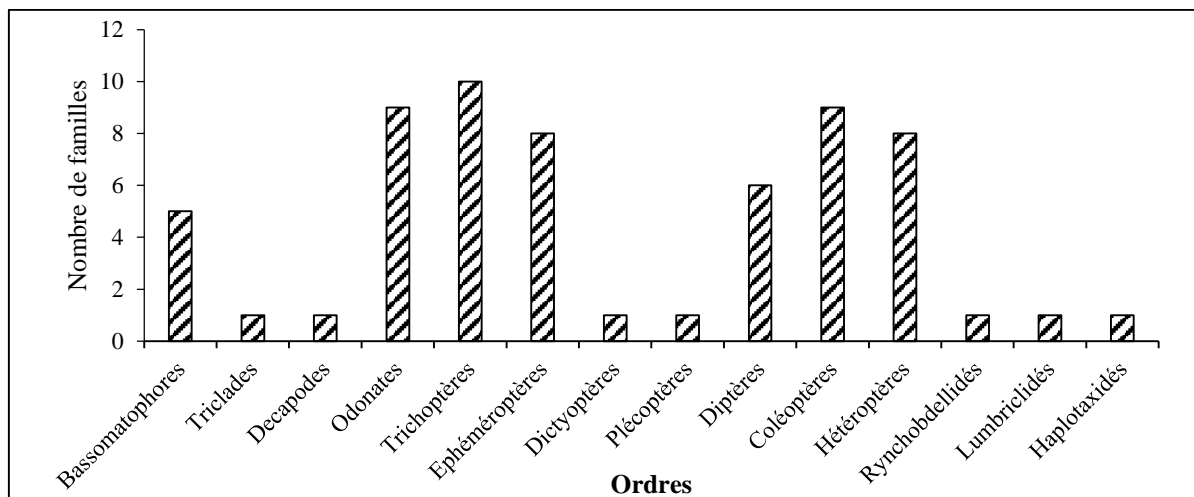
 <p style="text-align: right;"><b>A</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>B</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>C</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>D</b></p>
<p><b>E</b> : Arthropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Dictyoptères  <b>F</b> : Blaberidae</p>	<p><b>E</b> : Arthropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Héteroptères  <b>F</b> : Veliidae  <b>G</b> : <i>Velia</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Arthropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Héteroptères  <b>F</b> : Belostomatidae  <b>G</b> : <i>Poissonia</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Coléoptères  <b>F</b> : Gyrinidae  <b>G</b> : <i>Aulonogyrus flavipes</i></p>
 <p style="text-align: right;"><b>E</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>F</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>G</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>H</b></p>
<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Odonates  <b>F</b> : Libellulidae  <b>G</b> : <i>Orthetrum</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Malacostracés  <b>O</b> : Décapodes  <b>F</b> : Potamonidae  <b>G</b> : <i>Potamonautes</i> sp.</p>	<p><b>E</b>: Mollusques  <b>Cl</b> : Gastéropodes  <b>O</b> : Basommatophores  <b>F</b> : Physidae  <b>G</b> : <i>Physa</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Arthropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Plécoptères  <b>F</b> : Perlidae  <b>G</b> : <i>Dinocras</i> sp.</p>
 <p style="text-align: right;"><b>I</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>J</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>K</b></p>	 <p style="text-align: right;"><b>L</b></p>
<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Trichoptères  <b>F</b> : Phriganeidae  <b>G</b> : <i>Trichostegia minor</i></p>	<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Diptères  <b>F</b> : Chironomidae  <b>G</b> : <i>Chironomus</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Artropodes  <b>Cl</b> : Hexapodes  <b>O</b> : Ephéméroptères  <b>F</b> : Heptageniidae  <b>G</b> : <i>Rhithrogena</i> sp.</p>	<p><b>E</b> : Plathelminthes  <b>Cl</b> : Turbellariés  <b>O</b> : Triclades  <b>F</b> : Dugesiidae  <b>G</b> : <i>Cura foremanii</i></p>



### III.1.2.1.1. Richesse taxonomique et abondance dans le cours d'eau Moon

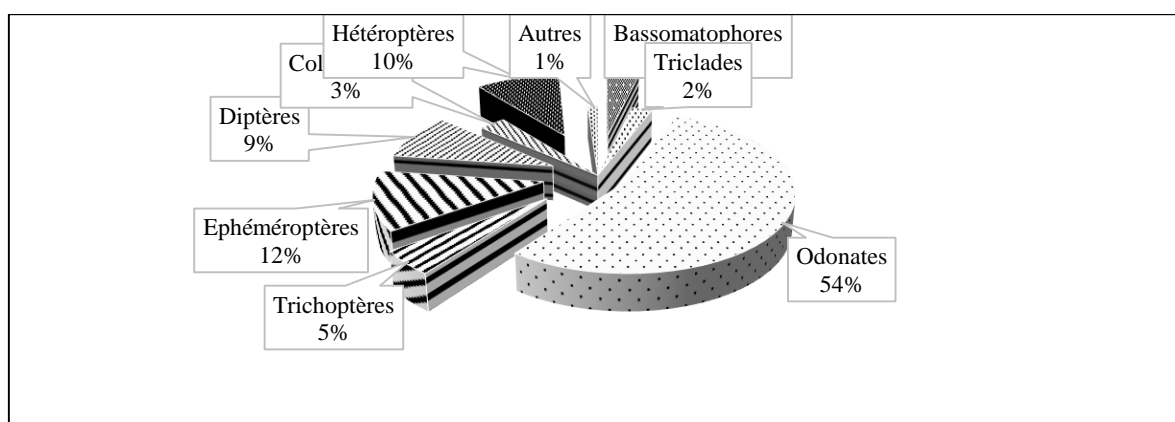
Dans le cours d'eau Moon, un total de 5049 individus réparti en 62 familles dont 53 appartenant à l'embranchement des Arthropodes, 5 à l'embranchement des Mollusques, 3 à l'embranchement des Annélides et une à l'embranchement des Plathelminthes a été dénombré.

L'embranchement des Arthropodes compte (02) classes dont les Insectes avec 9 ordres et 52 familles et la classe des Malacostracés avec l'ordre des Décapodes dont la seule famille est celle des Potamonidae. Les Diptères et les Coléoptères sont les ordres les plus riches avec respectivement 14 et 12 familles (Figure 33). L'embranchement des Annélides comprend également 2 classes, les Achètes et les Oligochètes. La classe des Achètes est constituée de l'ordre des Rhynchobdellidés ayant 1 famille, la classe des Oligochètes de 2 ordres (Haplotaxidés, Lumbriculidés) abritant chacun une famille (Figure 33). En ce qui concerne l'embranchement des Mollusques, il est représenté par l'ordre des Basommatophores et compte 5 familles. L'embranchement des Plathelminthes comprend une seule classe (Turbellariés), (01) seul ordre (Tricladida) et une (01) famille (DugesIIDae).



**Figure 32:** Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques du cours de l'eau Moon pendant la période d'étude.

Pour ce qui est des abondances, un total de 5049 individus dont 4721 Arthropodes, 183 Mollusques et 33 Annélides a été dénombré. Les ordres des Odonates et des Ephéméroptères sont les plus abondants avec respectivement 53,65% et 11,84% d'abondance relative, suivis des Hémiptères (9,44%) et des Diptères (9,13%) (Figure 34).



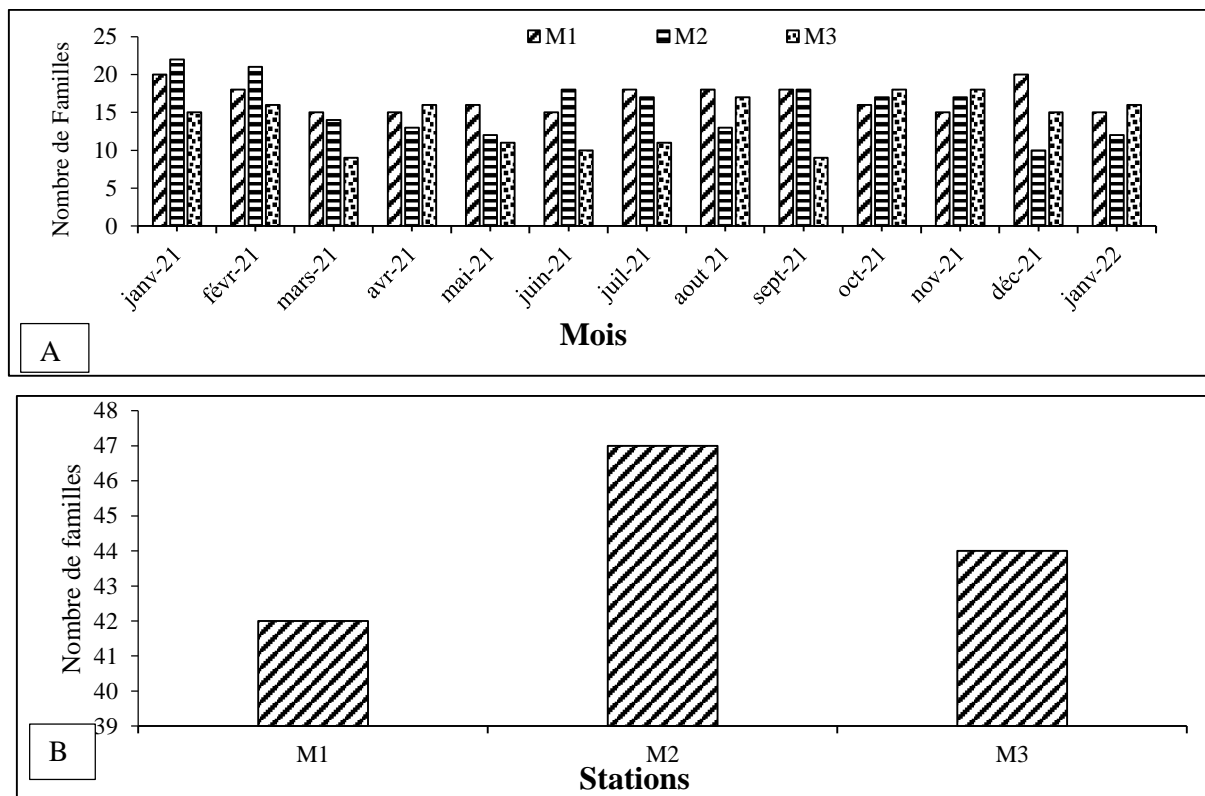
**Figure 33:** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Moon pendant la période d'étude.

### III.1.2.1.2. Variation spatio-temporelle et fréquence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques dans le Moon

A la station Mo1, 42 familles, dont 38 appartenant aux Arthropodes, 4 aux Mollusques et 2 aux Annélides ont été récoltés et identifiés (Tableau VIII). Les ordres des Hémiptères et des Ephéméroptères sont les plus diversifiés avec 8 familles chacun. Les Odonates et les Coléoptères suivent avec 6 familles chacun. Parmi toutes les familles inventoriées, 5 sont constantes (Caloptérygidae, Hydropsychidae, Ephémérellidae, Leptophlébidae,

Chironomidae). La richesse taxonomique la plus élevée a été obtenue en janvier et décembre 2021 (20 familles) et la plus faible en mars, avril, juin, novembre 2021 et janvier 2022 (15 familles) (Figure 35 A). A la station Mo2 par contre, 47 familles ont été dénombrées. 43 appartenant à l'embranchement des Arthropodes et les 4 autres réparties entre les embranchements des Annélides (2 familles), des Plathelminthes (01 famille) et des Mollusques (01 famille). Les ordres les plus riches en familles sont les Odonates (09 familles), les Trichoptères (8 familles) et les Ephéméroptères (07 familles). Ensuite, viennent les ordres des Coléoptères et des Hétéroptères avec 6 familles chacun. Les Basommatophores et les Triclades comptent chacun 01 famille. Les familles permanentes sont les Libellulidae, les Coenagrionidae, les Hydropsychidae, les Belostomidae et les Baetidae. Les mois les plus riches sont janvier et février 2021 avec respectivement 22 et 21 familles, tandis que le mois le plus pauvre est décembre 2021 avec 10 familles (Figure 35 A). A la station Mo3, 44 familles ont été dénombrées, l'embranchement des Arthropodes, suivi de l'embranchement des Mollusques 4 familles, des Annelides avec 3 et des Plathelminthes avec 01 famille. L'ordre des Trichoptères domine avec (08) familles, suivi des Ephéméroptères et des Diptères avec 06 familles chacun, puis des Coléoptères et des Hétéroptères avec 05 familles chacun. Les Libellulidae, les Coenagrionidae, les Baetidae, les Chironomidae sont les familles fréquemment rencontrées à la station Mo3. Toutefois, les Physidae, les Dugesiidae, les Gomphidae, les Caloptérygidae, les Hydropsychidae, les Caenidae, les Ephémérellidae, et les Simulidae sont des familles constantes. Un nombre de 18 familles ont été récoltées en octobre et novembre 2021 faisant de ceux-ci les mois les plus riches de cette station (Figure 35 B).

Globalement, le nombre de familles le plus élevé a été enregistré à la station Mo2 (47 familles) contre 42 et 44 aux stations Mo1 et Mo3 (Figure 34B).



**Figure 34:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans le Moon. A- Evolution mensuelle de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques. B- Evolution spatiale de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques.

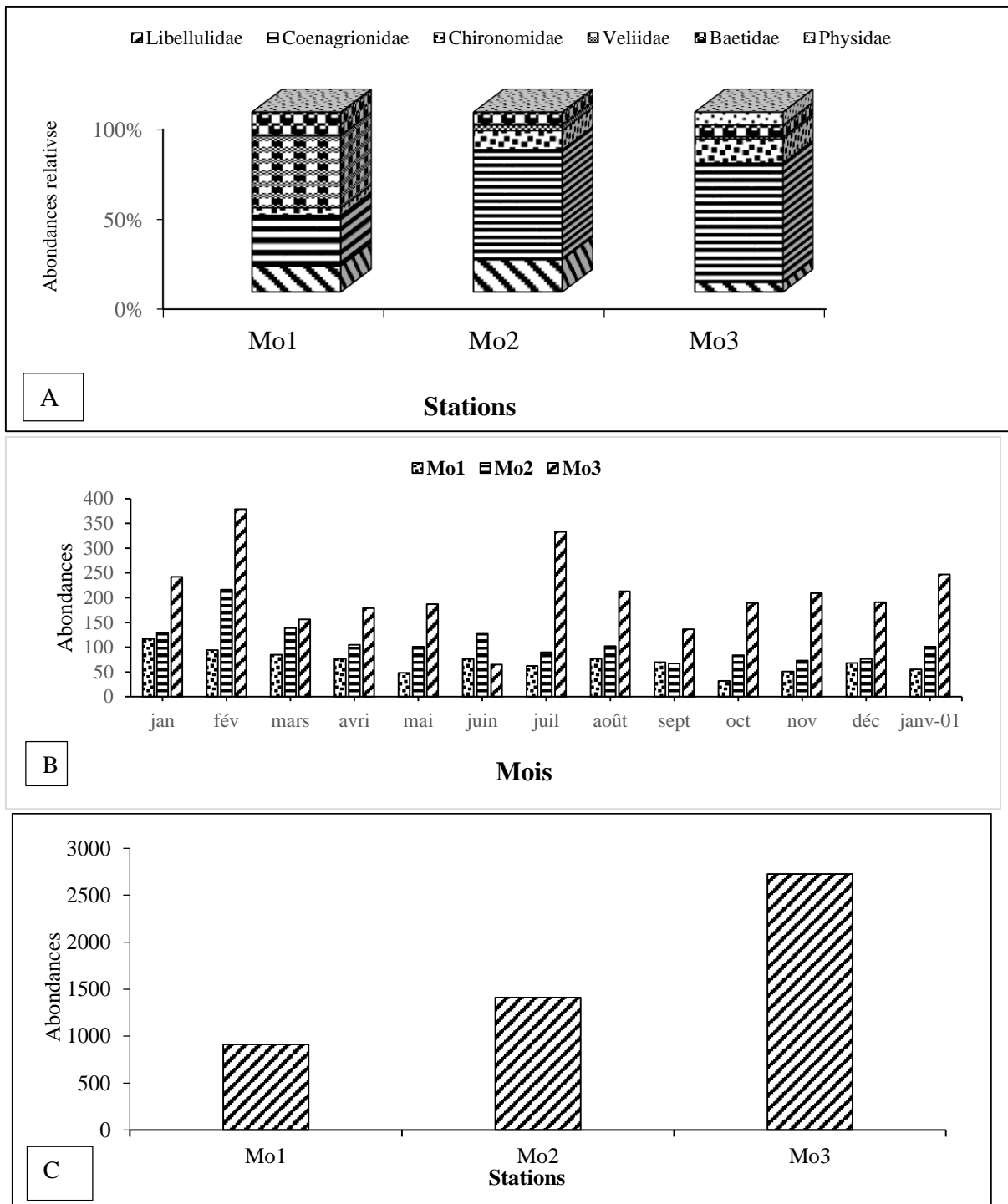
### III.1.2.1.2. Abondance relative des familles de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Moon

En moyenne 1683 individus ont été dénombrés par station. Avec 2726 individus sur un total de 5049, la station Mo3 montre l'abondance la plus élevée (53,99%). Elle est suivie par la station Mo2 dont l'abondance totale est de 1411 individus soit 27,94% de l'abondance totale. La station Mo1, avec 912 individus (19,06%) enregistre la plus faible abondance (Figure 36).

La macrofaune benthique du cours d'eau Moon est globalement dominée par les Coenagrionidae et les Chironomidae qui constituent respectivement 41,21% et 7,96% d'abondance relative. Bien que dans l'ensemble du cours d'eau, les Coenagrionidae soient prépondérants, ceux-ci occupent le deuxième rang en termes d'abondance au niveau de la station Mo1 où les Veliidae, avec une abondance relative de 15,78% sont prédominants. Les Coenagrionidae avec 37,70% d'abondance relative sont suivis des Libellulidae (10,98% d'abondance relative) à la station Mo2. A la station Mo3, les Coenagrionidae supplantent encore avec une abondance relative de 53,22% suivis des Chironomidae avec 10,82% d'abondance relative. Il convient par ailleurs de noter que le groupe des EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères) est fortement représenté par les Ephéméroptères de la famille des

Baetidae, les Trichoptères de la famille des Hydropsychidae au niveau de toutes les stations et dont les abondances varient de 252 à 165 individus soit 4,99% d'abondance relative. L'ordre des Plécoptères quant lui est le moins représenté avec 06 individus soit 0,11% d'abondance relative.

Sur le plan temporel, les abondances absolues présentent une évolution irrégulière et atteignent leur maximum en février 2021 avec 689 individus. L'abondance la plus faible est obtenue en octobre 2021 (276 individus) (Figure 36 A). Dans le Moon, les abondances ne diffèrent pas significativement d'une saison à l'autre.



**Figure 35:** A-Abondance relative de quelques familles de macroinvertébrés benthiques aux différentes stations du cours d'eau Moon pendant la période d'étude. B- Evolution mensuelle des abondances des macroinvertébrés benthiques dans les différentes stations d'étude. C- Evolution spatiale des abondances de macroinvertébrés benthiques.


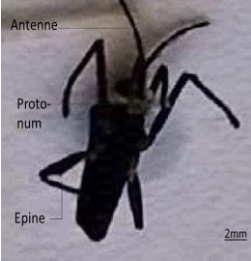






**Tableau IX:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Moon pendant la période d'étude.

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Mo1	Mo2	Mo3	
Mollusca	Gasteropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Radix</i> sp.	0	0	9	
				<i>Stagnicola</i> sp.	1	0	0	
			Bulinidae	<i>Truncatus camerounensis</i>	0	0	2	
			Bithynidae	<i>Gabiella balovalensis</i>	1	0	0	
			Physidae	<i>Physa</i> sp.	0	0	157	
			Planorbidae	<i>Planorbis</i> sp.	0	3	6	
				<i>Gyraulus</i> sp.	0	0	2	
<i>Planorbarius</i> sp.	0	0		2				
Plathelmintha	Turbellaria	Tricladida	Dugesiiidae	<i>Cura foremanii</i>	24	31	57	
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Potamonidae	<i>Potamon</i> sp.	1	0	0	
	Hexapoda	Odonata	Potamonidae	<i>Potamon</i> sp.	5	9	2	
				Libellulidae	<i>Orthetrum</i> sp.	7	15	9
			<i>Orthetrum cafferum</i>		5	0	0	
			<i>Leucorrhinia</i> sp.		1	0	0	
			<i>Brachythemis leucosticta</i>		35	122	96	
			<i>Brachythemis lacustis</i>		1	6	0	
			<i>Libellula</i> sp.		3	12	10	
			Aeshnidae	<i>Brachytron pratense</i>	0	1	0	
				<i>Boyeria irene</i>	0	2	0	
			Gomphidae	<i>Onychogomphus</i> sp.	0	3	3	
				<i>Lestinogomphus</i> sp.	1	0	0	
				<i>Gomphus</i> sp.	35	40	13	
				<i>Phyllogomphus</i> sp.	0	1	0	
				<i>Ophiogomphus</i> sp.	4	12	4	
				<i>Paragomphus</i> sp.	7	24	0	
			Calopterygidae	<i>Calopteryx</i> sp.	25	72	14	
			Macromiidae	<i>Macromia splendens</i>	0	1	0	
			Lestidae	<i>Sympetma</i> sp.	0	8	0	
			Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp.	101	532	1451	
			Corduliidae	<i>Phyllomacromia</i> sp.	1	0	0	
				<i>Epithea bimaculata</i>	1	1	0	
				<i>Somatochlora proparte</i>	5	8	0	
			Cordulegasteridae	<i>Cordulegaster</i> sp.	2	15	0	
			Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Diplectrona felix</i>	15	14	10
					<i>Hydropsyche</i> sp.	10	25	90
					<i>Cheumatopsyche lepida</i>	0	1	0
Philopotamidae	<i>Philopotamus</i> sp.	0	2	0				

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Mo1	Mo2	Mo3
			Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i> sp.	0	1	0
			Phryganeidae	<i>Trichostegia minor</i>	4	3	2
				<i>Oligostomis reticulata</i>	3	1	0
			Leptoceridae	<i>Trienodes</i> sp.	0	0	1
			Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma hirtum</i>	0	1	3
			Hydroptilidae	<i>Orthotrichia</i> sp.	0	0	1
			limnephilidae	<i>Apatania</i> sp.	0	1	0
				<i>Cryptothrix</i> sp.	0	0	2
			Sericostomatidae	<i>Sericostoma</i> sp.	14	13	1
				<i>Notidobia ciliaris</i>	3	1	0
			Glossosomatidae	<i>Agapetus</i> sp.	0	2	1
				<i>Catagapetus</i> sp.	0	1	0
				<i>Synagapetus</i> sp.	2	0	0
				<i>Glossosoma</i> sp.	6	8	7
		Ephemeroptera	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	9	14	73
			Ameletidae	<i>Ameletus inopinatus</i>	4	0	0
			ephemerellidae	<i>Serratella ignita</i>	1	0	0
				<i>Ephemerella sensu lato</i>	17	37	63
			Heptageniidae	<i>Electrogena</i> sp.	1	0	0
				<i>Heptagenia</i> sp.	2	6	0
				<i>Kageronia fuscogrisea</i>	3	0	0
				<i>Afronurus barnardi</i>	3	4	0
				<i>Rhithrogena</i> sp.	1	0	0
			Oligoneuriidae	<i>Oligoneuriella rhenana</i>	10	3	9
			Siphonuridae	<i>Siphonurus</i> sp.	5	6	32
			Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia auriculata</i>	7	9	6
				<i>Adenophlébia sylvatica</i>	10	4	8
			Baetidae	<i>Centroptiloides</i> sp.	0	0	2
		<i>Baetis</i> sp.		47	63	140	
		Dictyoptera	Blaberidae	//////////	0	1	0
		Plecoptera	Perlidae	<i>Dinocras</i> sp.	2	1	0
				<i>Perla</i> sp.	0	0	1
				<i>Marthamea</i> sp.	1	1	0
		Diptera	Ceratopogonidae	//////////	2	1	1
			Simuliidae	//////////	3	33	56
			Limoniidae	<i>Limoniini</i> sp.	0	0	1
			Anthomyiidae	<i>Limnophora</i> sp.	0	0	6
			Tipulidae	//////////	6	3	3
			Chironomidae	//////////	6	8	33
				<i>Nympe</i>	0	0	10
		<i>Chironomus</i> sp.		9	84	252	

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Mo1	Mo2	Mo3	
		Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i> sp.	2	0	1	
			Gyrinidae	<i>Gyrinus</i> sp.	3	0	0	
				<i>Dineutus</i> sp.	5	4	0	
				<i>Orectogyrus specularis</i>	66	17	1	
				<i>Aulonogyrus flavipes</i>	5	1	0	
			Scirtidae	<i>Elodes</i> sp.	2	10	0	
				<i>Microcara</i> sp.	0	1	0	
			Dryopidae	<i>Dryops</i> sp.	1	0	0	
			Hydraenidae	<i>Limnebius</i> sp.	0	0	2	
			Dysticidae	<i>Laccophilus</i> sp.	0	1	0	
				<i>Herophydrus guineensis</i>	0	0	1	
			Elmidae	<i>Potamophilus</i>	0	6	0	
				<i>Elmis</i> sp.	0	0	1	
				<i>Limnius</i> sp.	4	2	2	
				<i>Oulimnius</i> sp.	0	1	0	
		Psephenidae	////////////////	2	4	0		
		Hygrobidae	<i>Hygrobia</i> sp.	0	1	0		
		Heteroptera		Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	48	1	2
					<i>Tenagogonus albovittatus</i>	8	0	0
					<i>Naboandelus</i> sp.	0	11	0
					<i>Eurymetra</i> sp.	0	5	0
					<i>Hynesionella</i> sp. ( <i>omer cooperi</i> )	3	1	0
					<i>Gerrisella settembrinoi</i>	9	0	0
					<i>Limnogonus</i> sp.	1	0	0
				Belostomidae	<i>Abedus herberti</i>	34	14	7
					////////////////	34	23	18
				Corixidae	<i>Cymatia</i> sp.	0	2	0
					<i>Micronecta</i> sp.	2	0	0
				Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	2	0	0
				Pléidae	<i>Plea leachi</i>	1	0	0
				Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	9	2	3
Naucoridae	////////////////			36	3	1		
Vellidae	<i>Velia</i> sp.			114	23	22		
	<i>Rhagovelia</i> sp.	1	0	2				
	<i>Ocellovelia</i> sp.	1	0	0				
	<i>Microvelia</i> sp.	28	3	3				
Acheta	Rynchobdellida		<i>Haementeria costata</i>	0	0	3		
	Oligocheta	Haplotaxida	Haplotaxidae	////////////////	19	4	5	
lumbricidae			<i>Lumbricus</i> sp.	0	1	1		
Abondance totale des taxes /stations					912	1411	2726	

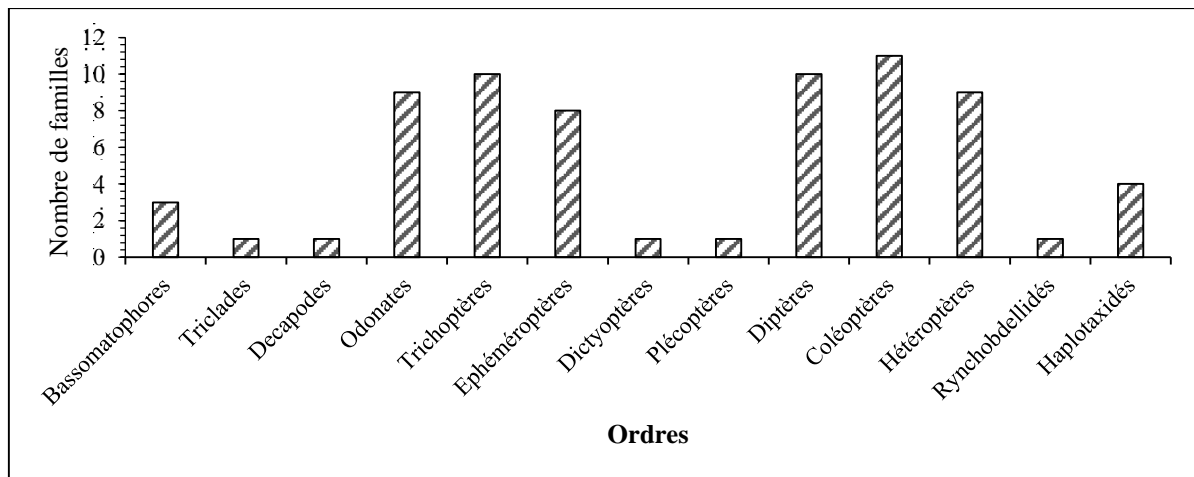
**Tableau X :** Quelques espèces dominantes et rares rencontrées dans le cours d'eau Moon pendant la période d'étude.

Espèces dominantes		Espèces rares	
 <i>Coenagrion</i> sp.	 <i>Velia</i> sp.	 <i>Potamonautes</i> sp.	 <i>Stagnicola</i> sp.
 <i>Chironomus</i> sp.	 <i>Baetis</i> sp.	 <i>Gabiella balovalensis</i>	 <i>Brachytron pratense</i>

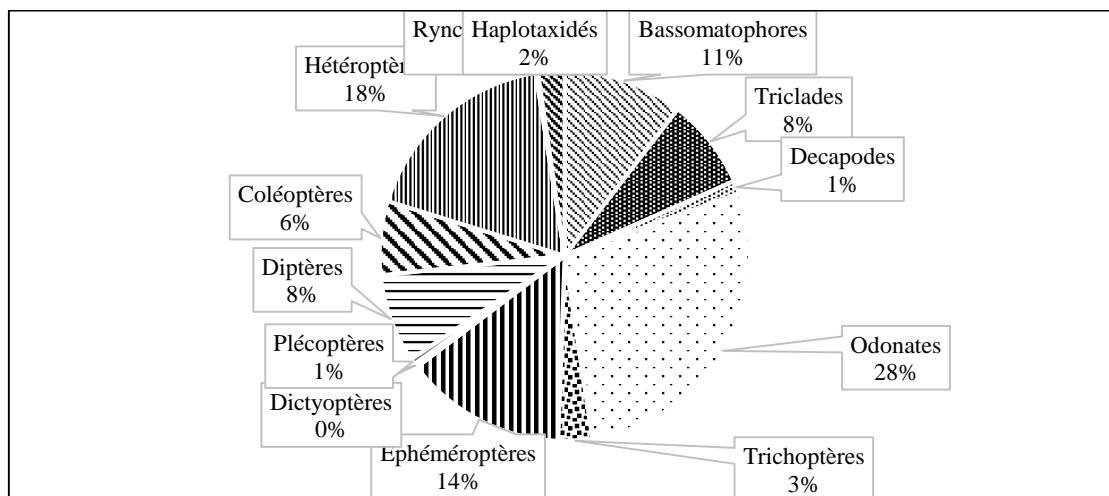
### III.1.2.2.1. Richesse taxonomique et abondance dans le cours d'eau Esoa

Dans le cours d'eau Esoa, 69 familles ont été identifiées dont 60 appartenant à l'embranchement des Arthropodes, 5 à l'embranchement des Annélides, 3 à celui des Mollusques et 01 à celui des Plathelminthes (tableau XI). Des 60 familles d'Arthropodes recensées, 02 classes (Insectes, Malacostracés) et 9 ordres ont été repertoriés. L'ordre des Coléoptères compte 11 familles (Figure 37) suivi de ceux des Trichoptères et des Diptères avec 10 familles chacun. Les Odonates et les Hétéroptères comptent chacun 9 familles et les Ephéméroptères, les Dictyoptères, les Plécoptères et les Decapodes suivent avec respectivement 8, 1, 1 et 1 familles. Les Annélides sont représentés par 2 classes (Achètes, Oligochètes), 3 ordres et 5 familles. L'ordre des Rhynchobdellidés comprend 1 famille celle des Glossiphoniidae. Les ordres des Haplotaxidés et des Lumbriculidés comptent 2 familles chacun (Figure 37). Les Mollusques sont représentés par la seule classe des Gastéropodes au sein de laquelle on retrouve l'ordre des Basommatophores avec de 3 familles (Lymneidae, Physidae et Planorbidae). Les Plathelminthes sont représentés par la seule classe des Turbellariés au sein de laquelle on retrouve l'ordre des Tricladides qui compte 01 famille (Dugesiiidae). Des quatre embranchements obtenus dans le cours d'eau Esoa, les Arthropodes dominant la faune benthique avec 79,09 % d'abondance relative. Suivis des Mollusques avec

10,45% d'abondance relative, des Plathelminthes avec 7,93% et des Annélides avec 2,51% d'abondance relative. En effet, plus de la moitié des individus appartiennent aux ordres des Odonates et des Hétéroptères avec les abondances relatives respectives de 28,05% et 17,71% (Figure 38). De même, les Ephéméroptères et les Basommatophores se distinguent également par des abondances relatives comprises entre 14% et 10%.



**Figure 36:** Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Esoa pendant la période d'étude.



**Figure 37:** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés dans l'Esoa pendant la période d'étude.

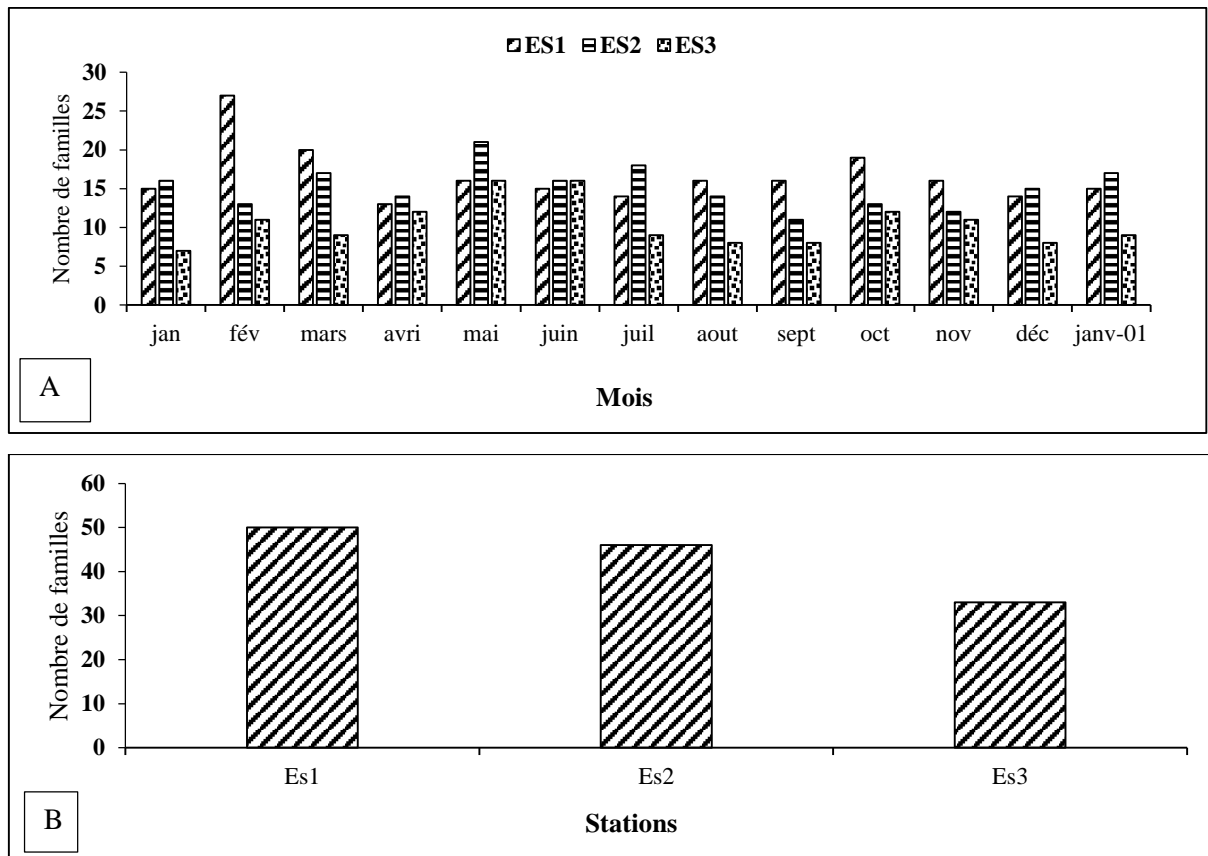
### III.1.2.2.2. Variation spatio-temporelle et fréquence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques dans l'Esoa

Dans le cours d'eau Esoa, un total de 50 familles a été identifié à la station Es1 dont 47 appartiennent à l'embranchement des Arthropodes et 3 aux embranchements des Mollusques, des Annélides et des Plathelminthes. Les ordres les plus diversifiés sont ceux des Odonates, des Hétéroptères et des Ephéméroptères avec 8 familles, suivis des Coléoptères, Trichoptères et

Diptères avec successivement 7, 7 et 6 familles. Enfin viennent les Planorbidae (Mollusques), les Dugesiiidae (Plathelminthes), les Potamonidae (Arthropodes) et les Haplotaxidae (Annélides) avec une (01) famille chacun. De ces familles, cinq sont constantes (Potamonidae, Leptophlébidae, Baetidae, Perlidae et Gerridae). Le nombre de familles a varié entre 27 en février 2021 et 7 en avril 2021.

A la station Es 2, 46 familles dont 37 d'Arthropodes, 3 de Mollusques, 5 d'Annélides et une des Plathelminthes ont été recensées. Les ordres des Trichoptères et des Ephéméroptères sont les plus diversifiés avec 7 familles, suivis des Odonates et des Hétéroptères avec 6 familles chacun, puis viennent les Diptères et les Coléoptères avec respectivement 5 et 4 familles, les Basommatophores (Mollusques) avec 3 familles, les Haplotaxidés et les Lumbriculidés (Annélides) avec 2 familles. En outre, La station Es2 compte 6 familles constantes (Libellulidae, Gomphidae, Hydropsychidae, Chironomidae, Belostomidae et Veliidae). Le nombre de familles fluctue entre 21 (mai 2021) et 11 (septembre 2021) (Figure 39A).

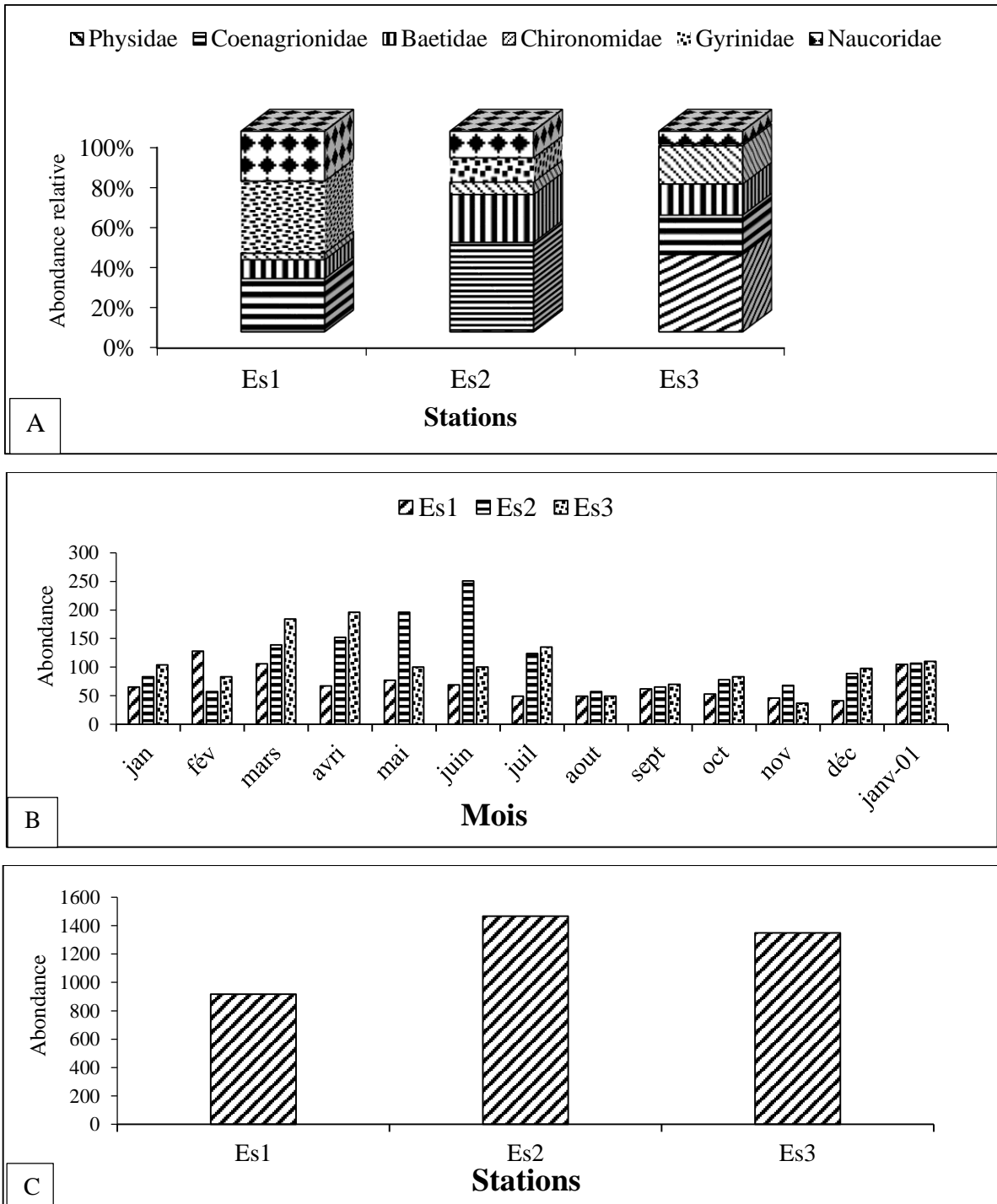
Un total de 33 familles a été recensé à la station Es3, dont 27 familles d'Arthropodes, 3 d'Annélides 2 de Mollusques et une (01) de Plathelminthes. Les ordres des Odonates, Hétéroptères et Coléoptères comptent 5 familles chacun, les Ephéméroptères et les Diptères 4 familles chacun. Les Basommatophores, les Haplotaxidés et les Trichoptères, comptent respectivement 3, 2 et 2 familles, les Triclades, les Branchiobdellida et les Décapodes une famille chacun. De toutes ces familles, celle des chironomidae est la plus constante. Avec 16 familles, les mois de mai et juin 2021 sont les plus riches par rapport à mars 2021, qui ne compte que 7 familles (Figure 39 B).



**Figure 38:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans l'Esoa pendant la période d'étude. A- Evolution mensuelle de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques. B- Evolution spatiale de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques.

### III.1.2.2.2. Abondances relatives et évolution spatio-temporelle de l'abondance totale des macroinvertébrés benthiques dans l'Esoa

Avec 917 individus soit une abondance relative de 24,57%, la station Es1 présente les abondances les moins élevées. Les Gerridae qui comptent 15,54% d'abondance relative y dominent nettement, suivis des Gyrinidae avec 9,59% d'abondance relative et des Belostomidae, avec 85 individus soit une abondance relative de 9,26%. Au niveau de la station Es2, 1466 spécimens ont été récoltés, les Coenagrionidae dominant avec 26,94% d'abondance relative, suivis des Baetidae qui totalisent 216 individus (soit 14,73% d'abondance relative), des Dugesidae et des Veliidae qui représentent respectivement 9% et 8,18% d'abondance relative. Au niveau de la station Es3, les Physidae dominent avec 377 individus (soit 27,94% d'abondance relative) suivis des Coenagrionidae et des Chironomidae avec 192 (14,23% d'abondance relative) et 187 individus (13,86% de l'abondance relative) respectivement. Les abondances de macroinvertébrés benthiques ont fluctué tout au long de l'étude, avec les pics les plus élevés aux mois de mars, avril, mai et juin 2021 (Figure 39).



**Figure 39:** Abondance des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Esoa A- Abondance relative de quelques macroinvertébrés benthiques aux différentes stations. B-Evolution mensuelle des abondances des macroinvertébrés benthiques aux différentes stations. C- Evolution spatiale des abondances des macroinvertébrés benthiques.









**Tableau XI:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Esoa pendant la période d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Es1	Es2	Es3
Mollusca	Gasteropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Radix</i> sp.	0	2	1
			Physidae	<i>Physa</i> sp.	0	8	377
			Planorbidae	<i>Planorbis</i> sp.	0	1	0
				<i>Gyraulus</i> sp.	1	0	0
Plathelmintha	Turbellaria	Tricladida	DugesIIDae	<i>Cura foremanii</i>	5	132	159
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Potamonidae	<i>Potamon</i> sp.	17	19	7
	Hexapoda	Odonata	Libellulidae	<i>Orthetrum</i> sp.	4	20	51
				<i>Orthetrum cafferum</i>	0	13	25
				<i>Sympetrum fonscolombii</i>	0	5	0
				<i>Brachythemis leucosticta</i>	2	17	2
				<i>Libellula</i> sp.	1	1	3
			Aeshnidae	<i>Brachytron pratense</i>	0	1	0
				<i>Aeshna</i> sp.	2	0	0
				<i>Anaciaeschna</i> sp.	1	0	0
				<i>Anax</i> sp.	1	0	0
			Gomphidae	<i>Gomphus</i> sp.	54	12	6
				<i>Paragomphus</i> sp.	4	14	4
			Calopterygidae	<i>Calopteryx</i> sp.	69	42	4
			Macromiidae	<i>Macromia splendens</i>	2	0	0
			Lestidae	<i>Sympecma</i> sp.	2	0	0
		Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp.	65	395	192	
		Corduliidae	<i>Oxygastra</i> sp.	0	0	4	
			<i>Somatochlora proparte</i>	0	2	26	
		Cordulegasteridae	<i>Cordulegaster</i> sp.	1	0	0	
		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Diplectrona felix</i>	2	14	0
				<i>Hydropsyche</i>	7	31	9
			Philopotamidae	<i>Chimara</i> sp.	1	1	0
				<i>Philopotamus</i> sp.	1	0	0
			Polycentropodidae	<i>Neureclipsis</i> sp.	0	3	0
			Phryganeidae	<i>Trichostegia minor</i>	0	1	0
			Leptoceridae	<i>Triaenodes v</i>	1	0	0
			Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma hirtum</i>	3	0	0
			Limnephilidae	<i>Cryptothrix</i> sp.	0	1	0
	Ednomidae		<i>Ecnomus</i> sp.	1	0	0	
	Sericoxomatidae		<i>Sericoxoma</i> sp.	27	1	0	
			<i>Oecismus monedula</i>	2	0	0	
	Glossosomatidae		<i>Agapetus</i> sp.	0	0	1	
			<i>Catagapetus</i> sp.	0	1	0	

			<i>Glossosoma</i> sp.	1	1	1
	Ephemeroptera	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	6	7	11
		Ephemerethidae	<i>Ephemerythus</i> sp.	1	0	0
		Ephemerellidae	<i>Torleya</i> sp.	0	4	0
			<i>Ephemerella sensu lato</i>	19	27	8
		Heptageniidae	<i>Electrogena</i> sp.	0	2	0
			<i>Afronurus barnardi</i>	1	0	0
		Oligoneuriidae	<i>Oligoneuriella rhenana</i>	2	7	1
		Siphonuridae	<i>Siphonurus</i> sp.	2	7	0
		Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia auriculata</i>	7	5	0
			<i>Adenophlébia sylvatica</i>	14	5	0
			<i>Adenophlebia euthraulus</i>	1	0	0
		Baetidae	<i>Acanthiops tsitsa</i>	0	3	0
			<i>Demoreptus</i> sp.	0	0	7
			<i>Baetis</i> sp.	23	213	145
		Dictyoptère	Blaberidae	//////////	11	0
	Plecoptere	Perlidae	<i>Dinocras</i> sp.	6	1	0
			<i>Eoperla</i> sp.	2	0	0
			<i>Perla</i> sp.	1	0	0
			<i>Marthamea</i> sp.	9	0	0
	Diptera	Syrphidae	////////////////////////////////////	0	0	1
		Simuliidae	////////////////////////////////////	5	11	3
		Empididae	////////////////////////////////////	3	0	0
		Dixidae	<i>Dixa</i> sp.	2	0	0
		Chaobidae	////////////////////////////////////	0	1	0
		Culicidae	////////////////////////////////////	0	3	0
		Sciomyzidae	////////////////////////////////////	0	1	0
		Anthomyiidae	<i>Limnophora</i> sp.	4	0	0
		Tipulidae	////////////////////////////////////	5	0	2
		Chironomidae	////////////////////////////////////	2	5	0
	<i>Nymphe</i>		0	1	8	
	<i>Chironomus</i> sp.		6	47	179	
	Coléoptera	Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i> sp.	0	0	1
			<i>Hydrophilus</i> sp.	1	0	0
			<i>Laccobius</i> sp.	4	0	0
			<i>Coelostoma</i> sp.	0	0	1
		Gyrinidae	<i>Orectogyrus specularis</i>	27	0	9
			<i>Aulonogyrus flavipes</i>	61	110	1
		Haliplidae	<i>Brychius</i> sp.	0	1	0
		Scirtidae	<i>Elodes</i> sp.	7	0	0
			<i>Hydrocyphon</i> sp.	2	0	0
		Hydraenidae	<i>Limnebius</i> sp.	1	0	0

		Heteroptera	Dysticidae	<i>Rhantus</i> sp.	0	0	1	
			Elmidae	<i>Riolus</i> sp.	0	1	0	
				<i>Potamophilus</i> sp.	1	0	0	
				<i>Limnius</i> sp.	1	0	1	
				<i>Oulimnius</i> sp.	2	0	0	
			Hydrochilidae	<i>Hydrochus</i> sp.	2	0	0	
			Noteridae	<i>Noterus</i> sp.	0	1	0	
			Psephenidae	////////////////////	0	0	1	
			Hygrobidae	<i>Hygrobia</i> sp.	4	0	0	
			Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	38	1	0	
				<i>Neogerris</i> sp.	4	0	0	
				<i>Tenagogonus albovittatus</i>	17	1	0	
				<i>Naboandelus</i> sp.	37	0	0	
				<i>Eurymetra</i> sp.	7	0	0	
		<i>Rhagadotarsus</i> sp.		15	0	0		
		<i>Hynesionella</i> sp.		22	3	0		
		<i>Gerrisella settembrinoi</i>		2	0	0		
		<i>Limnogonus</i> sp.		1	0	0		
		Notonectidae		<i>Notonecta</i> sp.	13	1	3	
		Belostomidae		<i>Abedus herberti</i>	25	1	3	
				////////////////////	60	30	14	
		Nepidae		<i>Nepa</i> sp.	0	1	0	
		Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	1	0	0		
		Pléidae	<i>Plea leachi</i> sp.	7	0	0		
		Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	12	0	1		
		Naucoridae	////////////////////	61	120	61		
		Vellidae	<i>Velia</i> sp.	48	21	6		
<i>Rhagovelia</i> sp.	16		1	0				
<i>Ocellovelia</i> sp.	1		0	0				
<i>Microvelia</i> sp.	5		1	0				
Annelida	Achaeta	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Hemiclepsis marginata</i>	0	1	0	
				<i>Haementeria costata</i>	0	4	3	
	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	<i>Branchiura sowerbyi</i>	0	39	1	
				////////////////////	0	19	0	
			Haplotaxidae	////////////////////	3	7	3	
		Lumbriculida	Lumbricidae	////////////////////	0	7	0	
			Lumbriculidae	////////////////////	0	6	0	
				<i>Lumbriculus</i> sp.	0	1	0	
	Abondance totale des taxes /stations					917	1466	1349

**Tableau XII :** Quelques espèces dominantes et rares rencontrées dans le cours d'eau Esoa pendant la période d'étude.

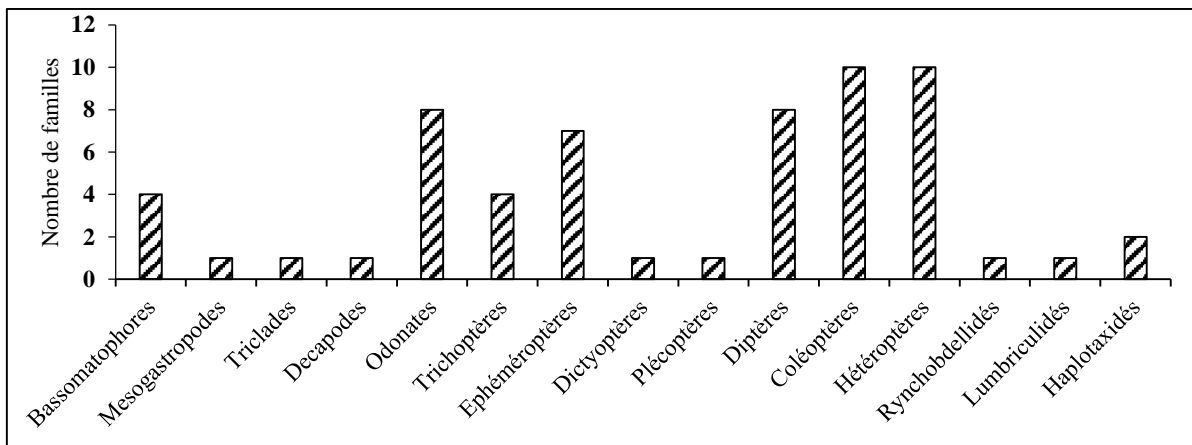
Espèces dominantes		Espèces rares	
			
<i>Coenagrion</i> sp.	<i>Physa</i> sp. .	<i>Ephemerythus</i> sp.	<i>Planorbis</i> sp.
			
<i>Cura foremanii</i>	<i>Baetis</i> sp.	<i>Hemiclepsis marginata</i>	<i>Brachytron pratense</i>

### III.1.2.3.1. Cours d'eau Egnoki

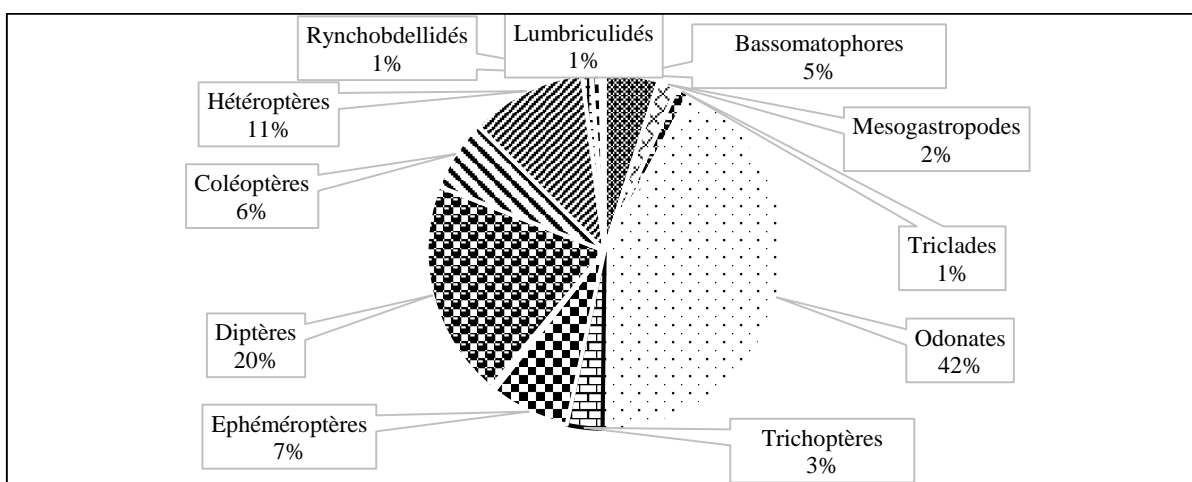
Dans le cours d'eau Egnoki, 3519 individus ont été récoltés et répartis en 4 embranchements, 6 classes, 15 ordres et 60 familles (Tableau X). De ces familles, 50 appartiennent à l'embranchement des Arthropodes qui se compose de 02 classes (Insectes, Malacostracés), 5 à l'embranchement des Mollusques, 4 à l'embranchement des Annélides et une (01) à celui des Plathelminthes. Les Insectes comptent 8 ordres dominés par les Coléoptères et les Hétéroptères avec 10 familles chacun, suivis des Odonates et des Diptères avec 8 familles. Les Ephéméroptères et les Trichoptères comptent 7 et 4 familles respectivement, puis viennent les Dictyoptères et les Plécoptères avec 1 famille chacun. La classe des Malacostracés comprend pour sa part 1 seul ordre (Décapodes) dont l'unique famille est celle des Potamonidae. Les Annélides comptent 4 familles dont 02 appartiennent à l'ordre des Haplotaxidés et 02 aux ordres des Lumbriculidés et des Rhynchobdellidés. Les Mollusques sont représentés par la classe des Gastéropodes qui compte 02 ordres (Basommatophores et Mésogastropodes). Les Basommatophores comptent 4 familles (Lymneidae, Bulinidae,

Physidae et Planorbidae). L'ordre des Mésogastropodes comprend une seule famille, celle des Thiaridae (Figure 41).

S'agissant des abondances, un total de 3519 individus dont 3167 Arthropodes (89,99% d'abondance relative), 325 Mollusques (6,67% d'abondance relative), 73 Annélides (7,07% d'abondance relative) et 44 Plathelminthes (1,25% d'abondance relative) a été recensé. Avec respectivement 41,86%, 19,83%, 10,57%, 7,21% et 6,47% d'abondance relative, les ordres des Odonates, Diptères, Hétéroptères, Ephéméroptères et Coléoptères sont prépondérants dans l'Egnoki (Figure 42). Les 10 ordres (Basommatophores, Mesogastropodes, Triclades, Décapodes, Trichoptères, Dictyoptères, Plécoptères, Rhynchobdellidés, Haplotaxidés et Lumbriculidés) ne représentent que 14,06%.



**Figure 40:** Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Egnoki.



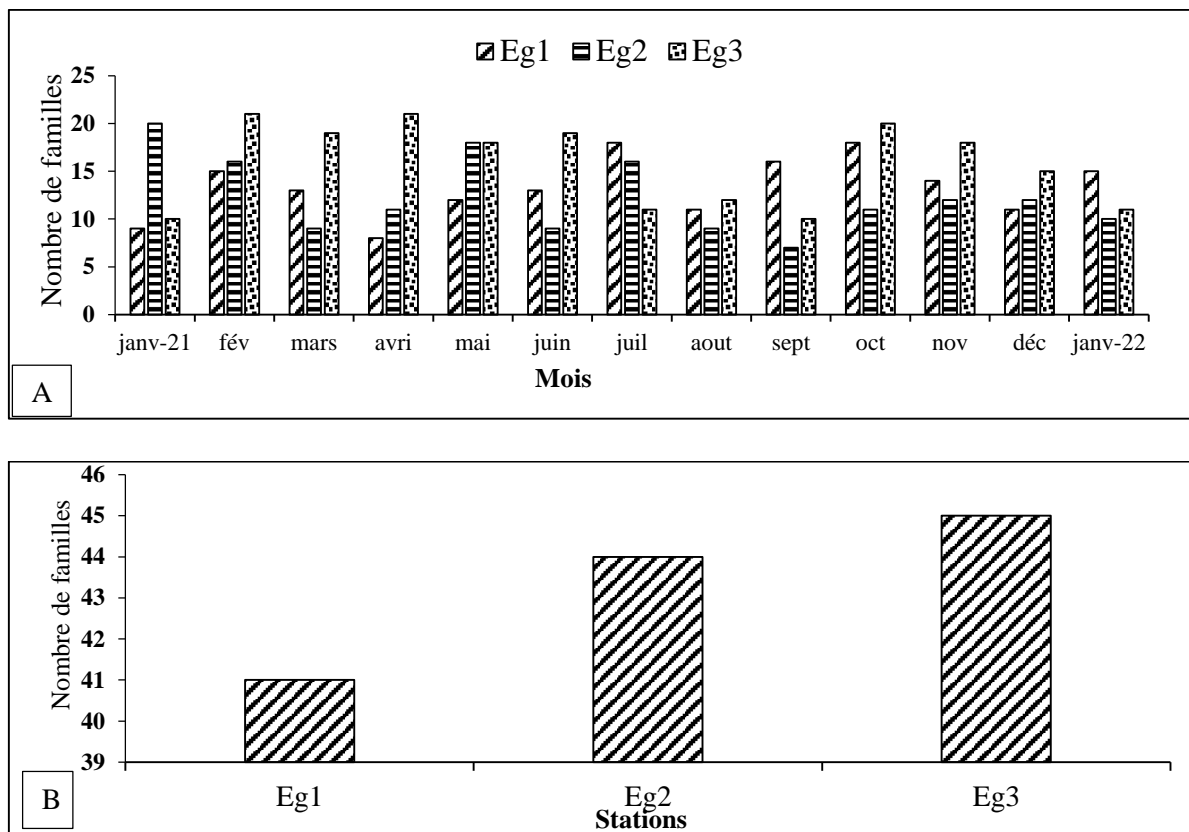
**Figure 41:** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés benthiques de l'Egnoki.

### **III.1.2.3.2. Variation spatio-temporelle et fréquence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Egnoki**

A la station Eg1, 41 familles ont été recensées, 39 appartenant à l'embranchement des Arthropodes comptent deux classes (Insectes et des Malacostracés), et 10 à l'ordre des Hétéroptères. Les ordres des Odonates et des Ephéméroptères viennent ensuite avec 07 familles chacun, suivis des Coléoptères, Diptères et Trichoptères avec respectivement 5, 4 et 3 familles. L'ordre des Tricladida (Plathelminthes), l'ordre des Décapodes et celui des Haplotaxidés totalisent chacun une (01) famille. Parmi les 41 familles dénombrées, 5 sont constantes (Hydropsychidae, Leptophlebidae, Baetidae, Notonectidae et Gerridae). Le nombre de familles varie entre 8 obtenues en avril et 18 enregistrées en juillet et octobre 2021 (Figure 43A et 43B).

A la station Eg2, 44 familles ont été dénombrées parmi lesquelles 5 appartiennent à l'ordre des Odonates et des Hétéroptères, 7, 5 et 4 familles respectivement aux ordres des Ephéméroptères, Diptères et Coléoptères. Les ordres des Décapodes et des Trichoptères totalisent une (01) famille chacun, les Basommatophores et les Mésogastropodes 4 et 1 familles. Les Haplotaxidés, Rhynchobdellidés et Lumbriculidés et Triclades comptent 2 à 01 familles. Cinq de ces familles sont constantes (Thiaridae, Libellulidae, Caenidae, Hydrophilidae et Glossiphonidae). Le nombre de familles fluctue entre 20 (janvier 2021) et 7 (septembre 2021) (Figure 43A, Figure 43 B).

La station Eg3, compte 45 familles dont 10 appartiennent à l'ordre des Hétéroptères, 7 à l'ordre des Odonates et des Coléoptères, puis 5, 4 et 3 aux ordres des Ephéméroptères, Diptères et Trichoptères respectivement. L'ordre des Décapodes compte une seule (01) famille, ceux des Basommatophores et Mésogastropodes 4 et 01 familles. Les ordres des Haplotaxidés Rhynchobdellidés et Lumbriculidés comptent 2 et 01 famille. Les familles des Physidae, Dugesiiidae, Thiaridae, Hydropsychidae, Leptophlebidae, Simulidae, Gyridae, Naucoridae et Glossiphonidae sont constantes. Les mois d'avril et février 2021 sont les plus diversifiés avec 21 familles (Figure 43A et 43 B).

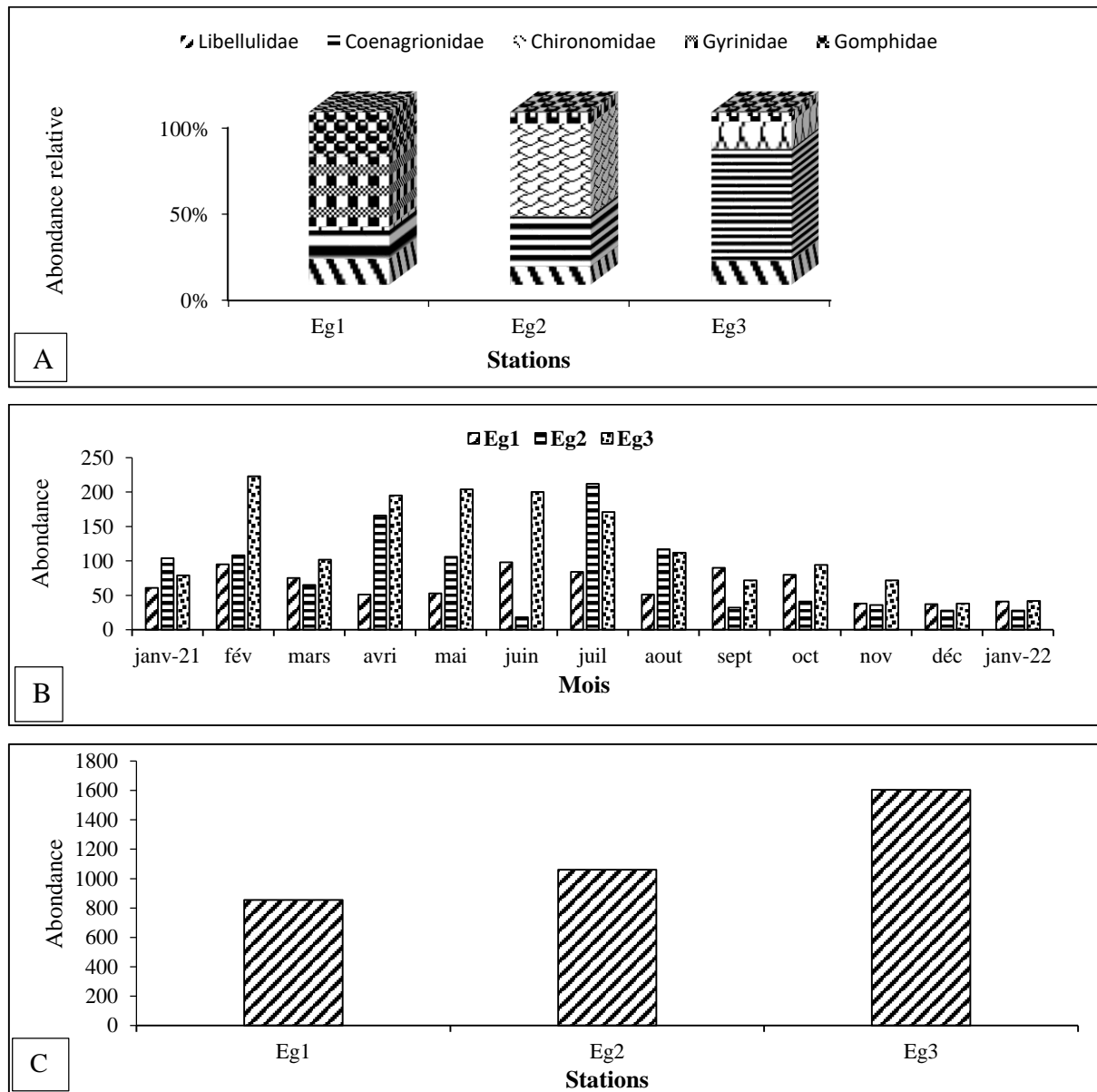


**Figure 42:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans l'Egnoki. A- Evolution mensuelle de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques. B- Evolution spatiale de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques.

### III.1.2.3.3. Abondance relative et évolution spatio-temporelle de l'abondance totale des macroinvertébrés dans le cours d'eau Egnoki

Sur un total de 3519 individus récoltés dans l'Egnoki, 1 604 se trouvent à la station Eg3, soit une abondance relative de 45,58%, suivie des stations Eg2 (30,15% d'abondance relative) et Eg1 (24,26% d'abondance relative). Les Coenagrionidae sont prépondérants avec une abondance relative de 26,82%, suivis des Chironomidae (16,14% d'abondance relative). A la station Eg3 les Coenagrionidae culminent avec 41,45 % d'abondance relative suivis des Chironomidae avec 10,16% d'abondance relative. La station Eg2 par contre est dominée par les Chironomidae suivis des Coenagrionidae avec 37,32% et 20,35% d'abondance relative puis des Libellulidae (8,91% d'abondance relative) (Figure 44 A). Contrairement aux stations Eg2 et Eg3 les Gyrinidae sont plus abondants avec 155 individus (18,14% d'abondance relative) (Figure 44 C). Les Gomphidae et les Leptohlebidae suivent avec respectivement 11,70% d'abondance relative et 10,42% d'abondance relative.

Globalement, l'abondance la plus élevée est enregistrée à la station Eg3. Pour ce qui est de la variation dans le temps, les maxima d'abondances sont obtenus au mois de juin 2021 pour Eg1, au mois de juillet 2021 pour Eg2 et au mois de février 2021 pour Eg3 (Figure 44 B).



**Figure 43:** Abondance des macroinvertébrés benthiques dans l'Egnoki. A-Abondance relative de quelques familles de macroinvertébrés benthiques dans l'Egnoki. B-Evolution mensuelle des abondances des macroinvertébrés benthiques aux différentes stations. B- Evolution spatiale des abondances des macroinvertébrés benthiques.









**Tableau XIII:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans l'Egnoki pendant la période d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Eg1	Eg2	Eg3	
Mollusca	Gasteropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Radix</i> sp.	0	5	4	
				<i>Stagnicola</i> sp.	0	43	9	
			Bulinidae	<i>Bulinus senegalensis</i>	0	1	1	
			Physidae	<i>Physa</i> sp.	0	55	50	
		Mesogastropoda	Thiaridae	<i>Planorbis</i> sp.	0	0	4	
				<i>Potadoma</i> sp.	0	27	21	
			<i>Melania tuberculata</i>	0	3	11		
Plathelmintha	Turbellaria	Tricladida	Dugesiiidae	<i>Cura foremanii</i>	1	3	40	
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Potamonidae	<i>Potamon</i> sp.	1	3	8	
	Hexapoda	Odonata	Libellulidae	<i>Orthetrum</i> sp.	32	61	76	
				<i>Sympetrum</i> sp.	1	0	0	
				<i>Diplacodes lefevrii</i>	2	0	0	
				<i>Brachythemis leucosticta</i>	19	12	55	
				<i>Trithemis dorsalis</i>	1	0	0	
				<i>Brachythemis lacustis</i>	2	0	3	
				<i>Libellula</i> sp.	1	5	8	
			Aeshnidae	<i>Brachytron pratense</i>	1	0	0	
				<i>Aeshna</i> sp.	0	1	0	
				<i>Anaciaeschna</i>	2	0	0	
				<i>Anax</i> sp.	1	0	0	
			Gomphidae	<i>Lestinogomphus</i>	0	0	1	
				<i>Gomphus</i> sp.	12	9	9	
				<i>Paragomphus</i> sp.	88	40	15	
			Calopterygidae	<i>Calopteryx</i> sp.	1	8	12	
			Macromiidae	<i>Macromia splendens</i>	4	3	1	
			Lestidae	<i>Chalcoleste</i> sp.	0	3	18	
				<i>Leste</i> sp.	0	0	8	
				<i>Sympecma</i> sp.	0	0	6	
			Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp.	63	216	665	
			Corduliidae	<i>Oxygastra</i> sp.	0	5	0	
				<i>Phyllomacromia</i> sp.	0	0	1	
				<i>Epithec bimaculata</i>	2	0	0	
				<i>Somatochlora</i> sp.	0	0	1	
			Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Diplectronea felix</i>	50	1	14
					<i>Hydropsyche</i> sp.	9	2	27

Phryganeidae	<i>Hagenella clathrata</i>	0	0	1	
	<i>Trichostegia minor</i>	6	0	0	
	<i>Oligostomis reticulata</i>	1	0	0	
Ednomidae	<i>Ecnomus</i> sp.	0	0	1	
Glossosomatidae	<i>Agapetus</i> sp.	1	0	0	
	<i>Glossosoma</i> sp.	1	0	0	
Ephemeroptera	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1	11	31
	Ephemerellidae	<i>Ephemerella</i> sp.	5	2	14
	Heptageniidae	<i>Afronurus</i> sp.	2	1	0
		<i>Afronurus barnardi</i>	1	0	0
		<i>Rhithrogena</i> sp.	1	0	0
	Oligoneuriidae	<i>Oligoneuriella rhenana</i>	1	2	0
	Siphonuridae	<i>Siphonurus</i> sp.	1	1	3
	Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia auriculata</i>	9	1	3
		<i>Adenophlébia sylvatica</i>	80	6	10
		<i>Paraleptophlebia</i> sp.	0	1	0
	Baetidae	<i>Acanthiops tsitsa</i>	1	0	0
		<i>Demoreptus</i> sp.	0	1	0
		<i>Pseudocleon glaucum</i>	0	1	0
		<i>Baetis</i> sp.	24	11	29
Dictyoptère	Blaberidae	////////////////	14	0	0
Plecoptere	Perlidae	<i>Dinocras</i> sp.	1	0	0
Diptera	Ceratopogonidae	////////////////////	2	0	0
	Simuliidae	////////////////////	7	10	104
	Limoniidae	<i>Eriopterini</i> sp.	0	1	0
	Tabanidae	////////////////////	1	0	0
	Chaobidae	////////////////////	0	0	2
	Culicidae	////////////////////	0	1	0
	Tipulidae	////////////////////	0	1	1
	Chironomidae	////////////////////	4	13	54
		<i>Nymphe</i>	1	4	3
<i>Chironomus</i> sp.		4	379	106	
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i> sp.	0	11	1
		<i>Enochrus</i> sp.	1	0	0
	Gyrinidae	<i>Dineutus</i> sp.	3	0	0
		<i>Orectogyrus specularis</i>	75	12	30
		<i>Aulonogyrus flavipes</i>	77	0	1
	Haliplidae	<i>Haliplus</i> sp.	0	1	0
	Sciirtidae	<i>Sciirtes</i> sp.	0	0	1
Dryopidae	<i>Dryops</i> sp.	1	0	1	

			Hydraenidae	<i>Hydraena</i> sp.	0	0	1
			Dysticidae	<i>Laccophilus</i> sp.	0	1	0
				<i>Agapus</i> sp.	0	0	1
				<i>Ibius</i> sp.	0	1	0
			Elmidae	<i>Riolus</i> sp.	0	0	1
				<i>Potamophilus</i> sp.	0	0	3
				<i>Limnius</i> sp.	0	0	3
		Hydrochilidae	<i>Hydrochus</i> sp.	1	0	0	
		Hygrobidae	<i>Hygrobia</i> sp.	1	0	0	
		Heteroptera	Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	20	0	1
				<i>Neogerris</i> sp.	9	0	0
				<i>Tenagonus albovitatus</i>	6	0	0
				<i>Naboandelus</i> sp.	3	0	0
				<i>Eurymetra</i> sp.	6	0	0
				<i>Hynesionella</i> sp.	13	0	0
				<i>Gerrisella settembrinoi</i>	7	0	0
				<i>Limnogonus</i> sp.	3	0	0
			Notonectidae	<i>Micronecta</i> sp.	1	1	0
				<i>Notonecta</i> sp.	29	1	3
			Belostomidae	<i>Abedus herberti</i>	0	1	23
				////////////////////	5	7	49
			Nepidae	<i>Ranatra linearis</i>	0	1	1
				<i>Nepa</i> sp.	1	1	1
			Corixidae	<i>Cymatia</i> sp.	0	0	1
				<i>Micronecta</i> sp.	7	23	0
			Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	2	0	0
			Pléidae	<i>Plea leachi</i>	1	1	0
			Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	13	1	2
			Naucoridae	////////////////////	47	5	9
			Vellidae	<i>Velia</i> sp.	41	1	5
				<i>Rhagovelia</i> sp.	10	0	0
				<i>Microvelia</i> sp.	7	0	3
		Annelida	Achaeta	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Hemiclepsis marginata</i>	0
<i>Haementeria costata</i>	0					9	11
Oligochaeta	Haplotaxida		Tubificidae	<i>Branchiura sowerbyi</i>	0	6	6
				////////////////////	0	1	0
	Haplotaxidae		////////////////////	2	7	7	
	Lumbriculidae		////////////////////	0	9	2	
<i>Lumbriculus</i> sp.		0	1	2			
Abondance totale des taxes /stations					854	1061	1604

**Tableau XIV :** Quelques espèces dominantes et rares rencontrées dans le cours d'eau Egnoki pendant la période d'étude.

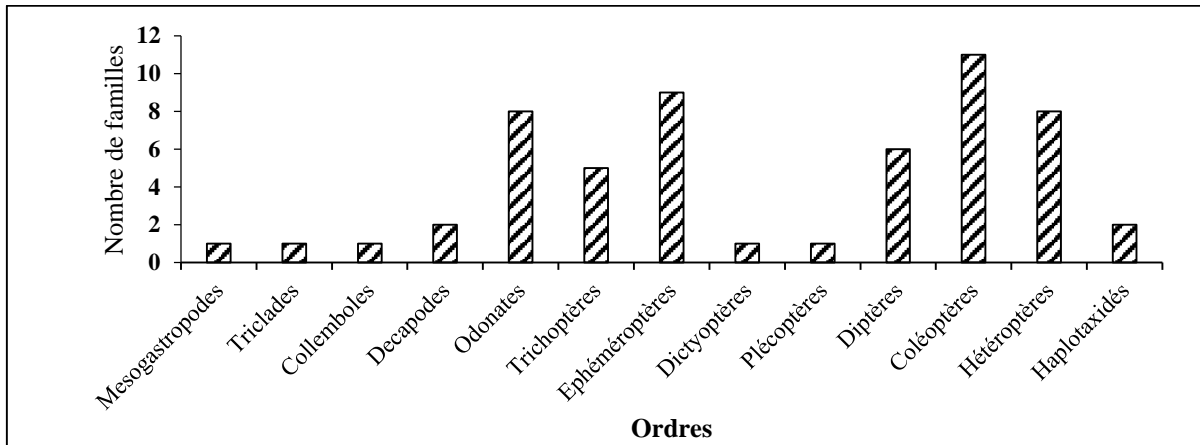
Espèces dominantes		Espèces rares	
 <i>Coenagrion</i> sp.	 <i>Orectogyrus specularis</i> .	 <i>Dinocras</i> sp.	 <i>Phyllomacromia</i> sp.
 Simulidae nd	 <i>Chironomus</i> sp.	 <i>Lestinogomphus</i> sp.	 <i>Cymatia</i> sp.

#### III.1.2.4. Cours d'eau Mbouroukou

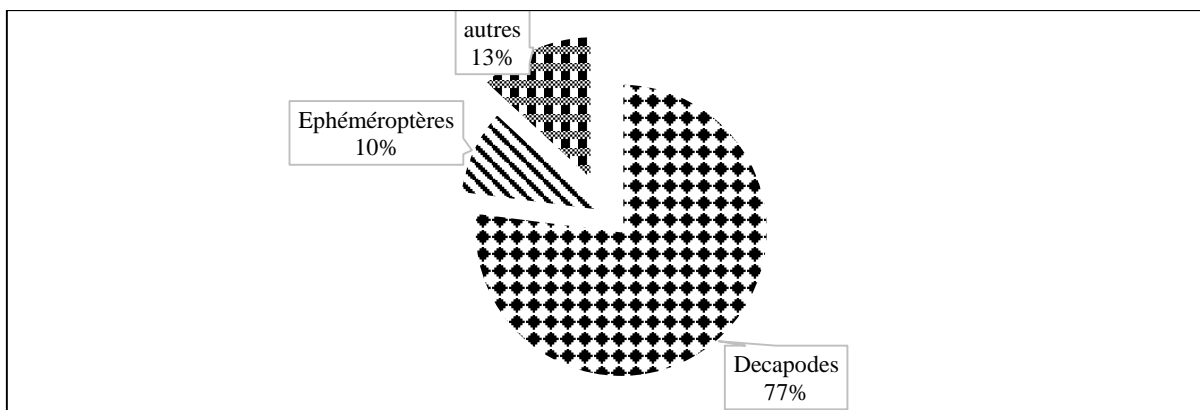
Un total de 6919 individus appartenant à 4 embranchements, 6 classes, 14 ordres et 56 familles a été dénombré (Tableau XI). De ces familles, 51 appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, 2 à l'embranchement des Annélides et une à celui des Mollusques et des Plathelminthes. L'ordre des Coléoptères culmine avec 11 familles, suivis des Ephéméroptères avec 9 familles, des Odonates et Hétéroptères avec 8 familles chacun. Les Diptères, Trichoptères et Décapodes viennent respectivement avec 6, 5 et 2 familles, suivis des Dictyoptères, Plécoptères et Symphyleones avec 01 famille chacun. Les annélides sont représentés par 01 classe, celle des Oligochètes avec 2 ordres et une famille chacun. Les Mollusques et les Plathelminthes viennent avec un seul ordre et une famille (Figure 45).

Sur le plan quantitatif, un total de 6919 individus dont 6906 Arthropodes (99,81% d'abondance relative), 9 Annélides (0,13% d'abondance relative), 1 Mollusque (0,01% d'abondance relative) et 1 Plathelminthe (0,01% d'abondance relative) a été dénombré. Les

Décapodes et les Ephéméroptères avec des abondances relatives respectives de 77,03% et 9,82%, le reste est regroupé sous le terme « autres » et représente 13,15% (Figure 46).



**Figure 44:** Richesse taxonomique (familles) des différents ordres de macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Mbouroukou.



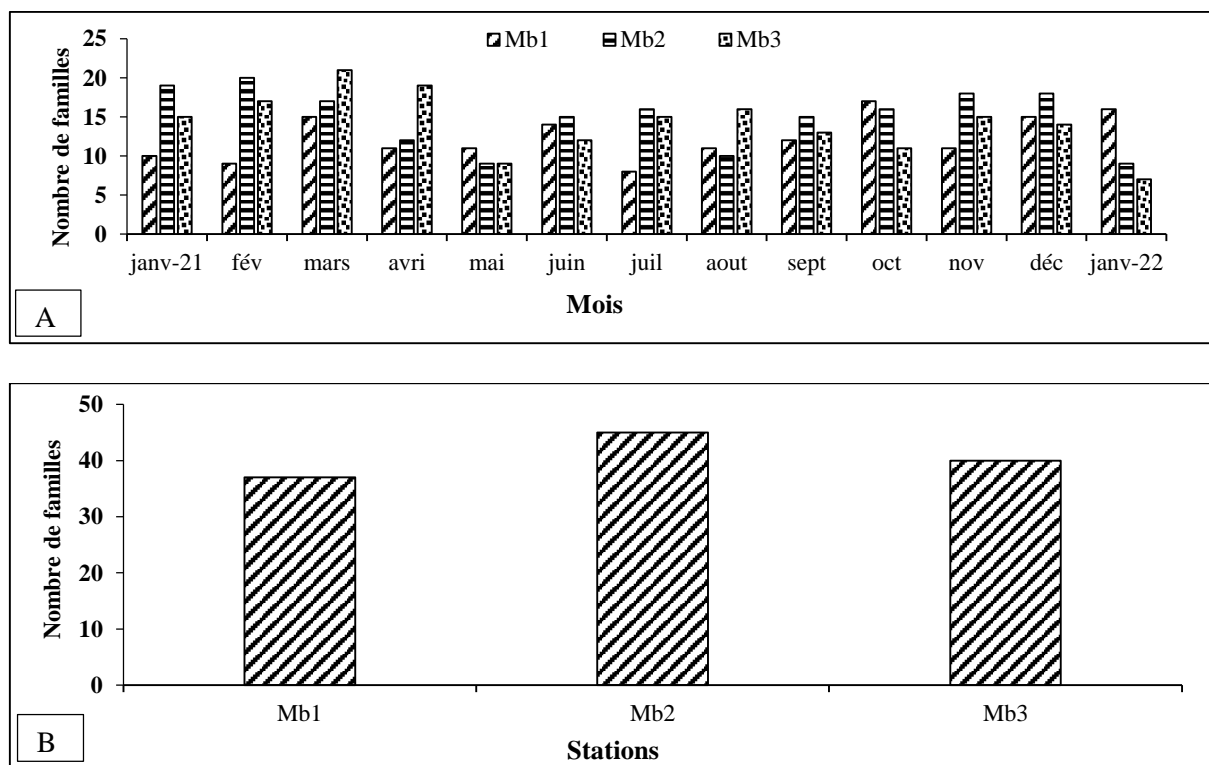
**Figure 45:** Abondance relative des différents ordres de macroinvertébrés du Mbouroukou.

#### III.1.2.4.1 Variation spatio-temporelle et fréquence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques dans le Mbouroukou

Au niveau de la station Mb1, 37 familles dont 36 appartenant à l’embranchement des Arthropodes et 01 à l’embranchement des Annélides ont été dénombrés. L’embranchement des Arthropodes compte 10 ordres dont celui des Hétéroptères plus riche avec 8 familles. Les ordres des Ephéméroptères et des Coléoptères suivent avec 7 familles chacun, puis viennent les ordres des Odonates, Trichoptères, Diptères et Décapodes avec respectivement 6, 2, 2, 2 familles, suivis des Dictyopères, Plécoptères, Haplotaxida (Annélides) et Symphypleona avec 01 famille chacun. Le mois d’octobre 2021 est le plus riche avec 17 familles. Cinq familles sont constantes (Calopterygidae, de Heptageniidae, de Perlidae, de Simuliidae et de Gerridae).

A la station Mb2, les Arthropodes comprennent 9 ordres et 42 familles et Annélides 2 ordres et 2 familles et les Plathelminthes un ordre et une famille. L'ordre des Coléoptères compte 9 familles, suivi des Ephéméroptères, Hétéroptères, Odonates avec respectivement 8, 8 et 7 familles. L'ordre des Trichoptères et des Diptères totalisent chacun 4 familles. Les décapodes et les Haplotaxida comptent 02 familles suivis des Dictyoptères, Plécoptères et Triclades avec une famille chacun. Le mois de Février 2021 est le plus riche. Six familles sont constantes (Gomphidae, Hydropsychidae, Ephemerellidae, Blaberidae, Simulidae et Gyrinidae).

La station Mb3 est dominée par les Arthropodes composés de 37 familles sur 40 familles. Les Odonates, les Baetidae occupent la première place avec 7 familles chacun, suivis des Hétéroptères et Coléoptères avec 6 familles chacun. Les Diptères, Trichoptères et Décapodes comptent respectivement 4, 3 et 2 familles, et les Dictyoptères, Plécoptères 01 famille chacun. Les Plathelminthes, Mollusques et Annélides comptent chacun un ordre et une famille. Le mois de mars est le plus riche avec 21 familles. Les Potamonidae, Hydropsychidae, Blaberidae, Simulidae, Gerridae, Naucoridae et Veliidae sont les familles constantes. L'évolution du nombre de familles montre que les stations Mb3, Mb2 et Mb1 présentent les richesses taxonomiques les plus élevées (21 familles), février 2021 (20 familles en mars) (Figures 47A et 47 B).

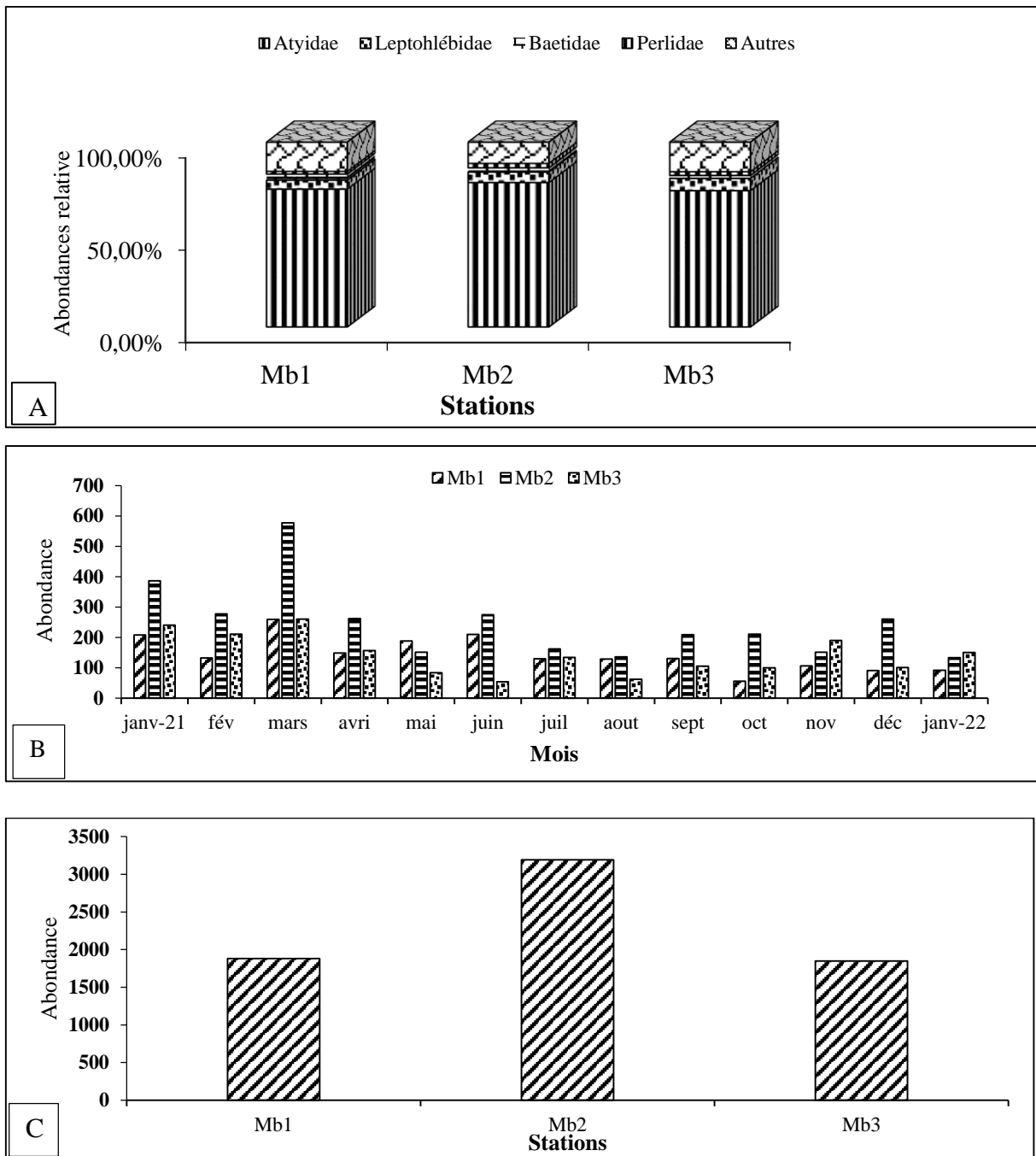


**Figure 46:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans le Mbouroukou A- Evolution mensuelle de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les stations. B- Evolution spatiale de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques pendant la période d'étude.

#### **III.1.2.4.2. Abondance relative et évolution spatio-temporelle de l'abondance totale des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Mbouroukou**

Avec un effectif de 3190 individus sur un total de 6919 individus dénombrés dans le Mbouroukou, la station Mb2 montre l'abondance la plus élevée. Les stations Mb1 et Mb3 suivent avec des abondances respectives de 1881 et 1848 individus. Les Atiydae contribuent pour plus de la moitié des effectifs avec respectivement 78,24%, 74,69% et 73,86% d'abondance relative dans les stations Mb2, Mb1 et Mb3 (Figure 48 A). Les Ephéméroptères suivent avec des abondances relatives de 9,95% à Mb3, 9,94% à Mb1 et 9,68% à Mb2. Bien que leur abondance soit négligeable, les Diptères sont apparus à toutes les stations de façon sporadique.

Excepté les mois de mai 2021, novembre 2021 et janvier 2022 où les plus faibles abondances ont été observées à la station Mb2, les abondances les plus fortes ont été notées à tous les autres mois (Figures 48 B et 48 C).



**Figure 47:** Abondance des macroinvertébrés benthiques dans le Mbouroukou. A- Abondance relative des familles de macroinvertébrés benthiques aux différentes stations. B- Evolution mensuelle des abondances des macroinvertébrés benthiques aux différentes stations. B- Evolution spatiale des abondances des macroinvertébrés benthiques pendant la période d'étude.









**Tableau XV:** Richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques récoltés dans le Mbouroukou pendant la période d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèces ou Genres	Mb1	Mb2	Mb3
Mollusca	Gasteropoda	Mesogastropoda	Thiaridae	<i>Potadoma</i> sp.	0	0	1
Plathelmintha	Turbellaria	tricladida	DugesIIDae	<i>Cura foremanii</i>	0	2	1
Arthropoda	Insecta	Collembola	Sminthuridae		1	0	0
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina africana</i>	1322	2219	1145
				<i>Caridina indistincta</i> .	0	0	1
				<i>Caridina typus</i>	83	277	219
			Potamonidae	<i>Potamon</i> sp.	5	1	0
				<i>Potamon</i> sp.	18	24	16
	Odonata	Libellulidae	<i>Orthetrum</i> sp.	0	0	1	
			<i>Brachythemis leucosticta</i>	1	3	4	
			<i>Libellula</i> sp.	0	1	0	
		Aeshnidae	<i>Brachytron pratense</i>	3	3	2	
			<i>Aeshna</i> sp.	1	1	1	
			<i>Hemianax</i> sp.	0	1	0	
		Gomphidae	<i>Gomphus</i> sp.	11	10	23	
			<i>Paragomphus</i> sp.	9	8	25	
		Calopterygidae	<i>Calopteryx</i> sp.	0	1	0	
		Macromiidae	<i>Macromia splendens</i>	6	7	6	
		Lestidae	<i>Sympecma</i> sp.	0	0	1	
		Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp.	1	7	4	
		Corduliidae	<i>Somatochlora</i> sp.	0	0	3	
		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Diplectrona felix</i>	14	31	10
	<i>Hydropsyche</i> sp.			5	8	4	
	Phryganeidae		<i>Trichostegia minor</i>	0	3	0	
	Ednomidae		<i>Ecnomus</i> sp.	1	0	0	
	Sericostomatidae		<i>Sericostoma</i> sp.	0	1	1	
			<i>Catagapetus</i> sp.	0	1	0	
	Ephemeroptera		<i>Glossosoma</i> sp.	0	4	2	
		Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1	6	3	
		Polymitarcyidae		0	0	1	
Ephemerethidae		<i>Ephemerythus</i> sp.	2	3	0		
Ephemerellidae		<i>Ephemerella</i> sp.	13	26	11		
Heptageniidae		<i>Heptagenia</i> sp.	0	9	0		
Oligoneuriidae		<i>Oligoneuriella rhenana</i>	2	0	1		
	<i>Oligoneuriella</i> sp.	13	11	15			
Siphonuridae	<i>Siphonurus</i> sp.	3	1	1			

			Leptophlebidae	<i>Adenophlebia auriculata</i>	25	30	33	
				<i>Adenophlebia sylvatica</i>	63	150	88	
				<i>Paraleptophlebia</i> sp.	0	0	1	
				<i>Adenophlebia euthraulus</i>	3	0	1	
			Baetidae	<i>Baetis</i> sp.	62	73	29	
	Dictyoptère		Blaberidae		4	13	10	
	Plecoptère		Perlidae	<i>Dinocras</i> sp.	17	38	16	
				<i>Eoperla</i> sp.	0	3	2	
				<i>Perla</i> sp.	3	10	3	
				<i>Marthamea</i> sp.	7	27	16	
	Diptera		Simuliidae	////////////////////	22	23	21	
			Limoniidae	<i>Hexatoma</i> sp.	0	0	1	
			Stratiomyidae	////////////////////	0	0	1	
			Anthomyiidae	<i>Limnophora</i> sp.	0	1	0	
			Tipulidae		0	9	0	
			Chironomidae		////////////////////	2	4	5
					<i>Nymphe</i>	0	1	2
					<i>Chironomus</i> sp.	3	1	3
	Coleoptera		Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i> sp.	0	2	0	
				<i>Laccobius</i> sp.	1	1	3	
			Gyrinidae	<i>Gyrinus</i> sp.	0	2	0	
				<i>Dineutus</i> sp.	0	2	0	
				<i>Orectogyrus specularis</i>	28	35	11	
				<i>Aulonogyrus flavipes</i>	4	1	0	
			Scirtidae	<i>Elodes</i> sp.	1	0	0	
			Dryopidae	<i>Dryops</i> sp.	0	0	1	
			Hydraenidae	<i>Hydraena</i> sp.	0	1	0	
			Dytiscidae	<i>Eretes</i> sp.	0	1	0	
				////////////////////	0	0	1	
				<i>Capelatus</i> sp.	0	0	1	
				<i>Hydaticus</i> sp.	0	0	1	
			Elmidae	<i>Elmis</i> sp.	0	3	1	
				<i>Limnius</i> sp.	0	2	4	
				<i>Normandia</i> sp.	1	0	0	
			Hydrochilidae	<i>Hydrochus</i> sp.	2	1	0	
			Noteridae	<i>Noterus</i> sp.	1	1	0	
			Psephenidae		2	1	0	
			Hygrobidae	<i>Hygrobia</i> sp.	0	3	2	
	Heteroptera		Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	26	2	1	
				<i>Tenagonus albovitatus</i>	3	1	6	
				<i>Naboandelus</i> sp.	1	0	0	

				<i>Halobates micans</i>	1	0	0
				<i>Hynesionella</i> sp.	2	2	6
				<i>Gerrisella settembrinoi</i>	1	10	4
				<i>Limnogonus</i> sp.	4	0	2
			Notonectidae	<i>Micronecta</i> sp.	1	0	0
				<i>Notonecta</i> sp.	12	8	8
			Belostomidae	<i>Abedus herberti</i>	3	5	5
				////////////////////	5	20	12
			Alphelocheiridae	////////////////////	1	0	0
			Pléidae	<i>Plea leachi</i>	3	3	0
			Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	1	2	6
			Naucoridae	////////////////////	7	6	16
			Vellidae	<i>Velia</i> sp.	33	17	18
				<i>Microvelia</i> sp.	9	2	2
		Haplotaxida	Haplotaxidae	////////////////////	2	2	3
			Lumbriculidae	<i>Lumbriculus</i> sp.	0	2	0
Abondance totale des taxas /stations					1881	3190	1848

**Tableau XVI :** Quelques espèces dominantes et rares rencontrées dans le cours d'eau Mbouroukou pendant la période d'étude.

Espèces dominantes		Espèces rares	
			
<i>Caridina africana</i>	<i>Caridina typus.</i>	<i>Orthetrum</i> sp.	<i>Potadoma</i> sp.
			
<i>Adenophlebia sylvatica</i>	<i>Baetis</i> sp.	Alphelocheiridae nd	Sminthuridae nd

### III.1.2.5. Fréquence d'occurrence des taxa aux différentes stations d'échantillonnage

L'analyse de la macrofaune benthique récoltée dans l'ensemble des 12 stations montre que les taxons rares sont les plus représentés avec une fréquence d'occurrence de 70,33 %, suivis des taxons accessoires (13,34 %), des taxons constants (7,79 %), des taxons réguliers (4,30 %) et des taxons omniprésents (4,24 %) (Tableau XII). Sur le plan spatial, les taxons rares sont les plus représentés à toutes les stations avec des fréquences d'occurrence variant entre 47,61 % (Mo1) et 65,90 % (Eg2). Les fréquences des taxons accessoires se situent entre 9,09 % à la station Mo1 et 24,44 % à la station Mb2. Les taxons constants présentent des proportions fluctuant entre 3,03 % (Es3) et 20,45 % (Mo3), et les taxons réguliers entre 4,54 % (Mo3) et 15,15 % (Es3). Les taxons omniprésents n'ont pas été rencontrés aux stations Es3 et Eg2.

**Tableau XVII:** Fréquence d'occurrence des taxons dans les différentes stations d'échantillonnage pour l'ensemble des 13 campagnes effectuées

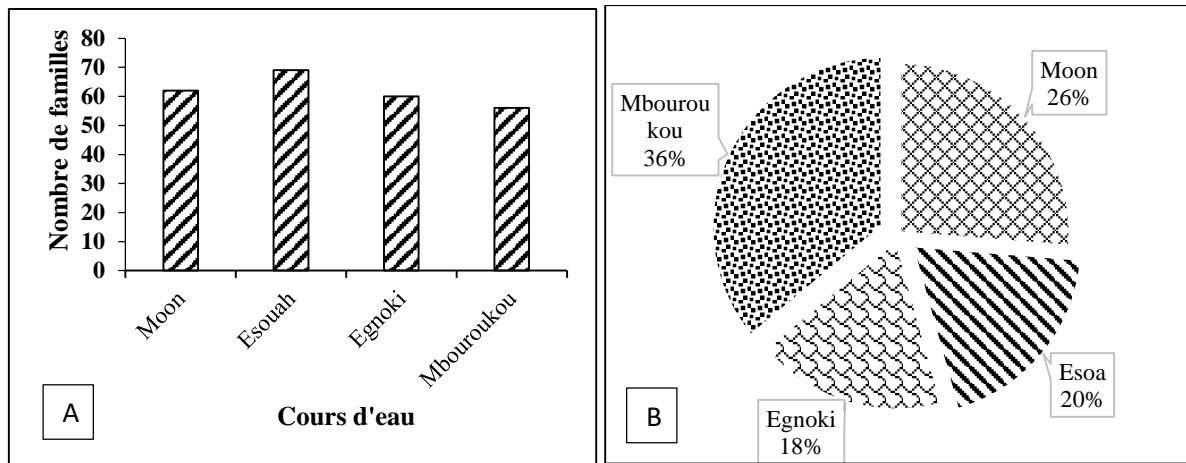
Stations	Taxons omniprésents (%)	Taxons réguliers (%)	Taxons constants (%)	Taxons accessoires (%)	Taxons Rares (%)
Mo1	7,14	14,28	11,90	19,04	47,61
Mo2	4,25	10,63	14,89	12,76	57,44
Mo3	4,54	4,54	20,45	9,09	61,36
Es1	6	8	10	24	52
Es2	4,34	10,86	13,04	15,21	56,52
Es3	0	15,15	3,03	18,18	63,63
Eg1	4,87	9,75	12,19	19,51	53,65
Eg2	0	9,09	11,36	13,63	65,90
Eg3	4,44	11,11	20	13,33	51,11
Mb1	2,70	10,81	13,51	24,32	48,64
Mb2	4,44	6,66	13,33	24,44	51,11
Mb3	2,5	10	17,5	17,5	52,5

Les codes Mo1, Mo2, Mo3, Es1, Es2, Es3, Eg1, Eg2, Eg3, Mb1, Mb2 et Mb3 désignent les stations d'échantillonnage.

### III.1.2.6. Analyse comparée de la richesse taxonomique et des abondances des communautés de macroinvertébrés benthiques des quatre cours d'eau

Parmi les 04 cours d'eau, le cours d'eau Esoa présente la richesse taxonomique la plus élevée avec 69 familles suivis des cours d'eau Moon et Egnoki avec respectivement 62 et 60 familles (Figure 49 A) et du cours d'eau Mbouroukou avec 56 familles. En ce qui concerne les

abondances, le cours d'eau Mbouroukou domine avec 6919 individus soit une abondance relative de 36% suivis des cours d'eau Moon, Esoa et Egnoki avec 5049 (26,27% d'abondance relative), 3732 (19,41% d'abondance relative) et 3519 (18,31%) respectivement (Figure 49 B).

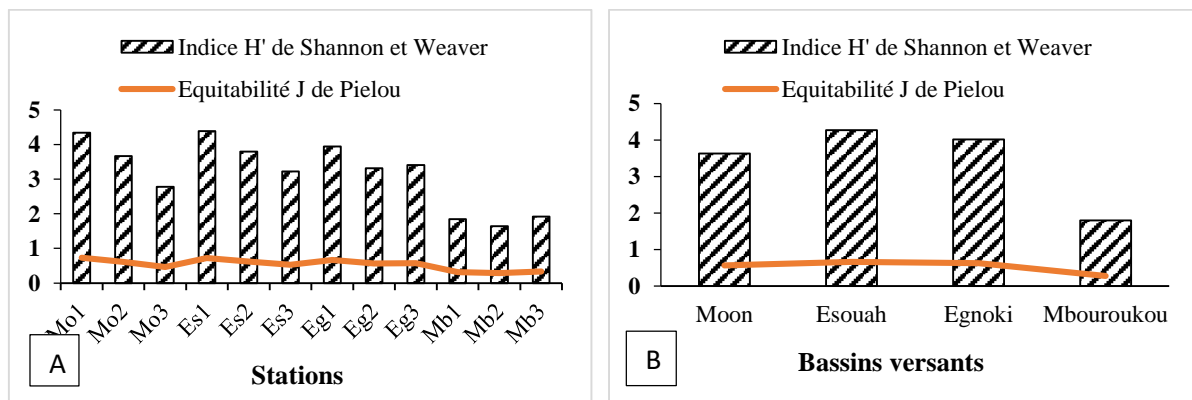


**Figure 48:** Variation du nombre de familles et abondance relative des macroinvertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau étudiés.

### III.1.2.7. diversité des macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau utilisés

#### III.1.2.7.1. Indices de diversité de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Piélou.

Dans les cours d'eau Moon et Esoa, les indices de diversité de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Piélou décroissent de l'amont vers l'aval, les stations Mo1 et Es1 montrant les valeurs plus élevées avec respectivement ( $H'=4,39$  bits/ind et  $J= 0,71$ ) et ( $H'= 4,34$  bits/ind et  $J= 0,72$ ). Ces indices évoluent en dents de scie dans les cours d'eau Egnoki et Mbouroukou (Figures 50 A et 50 B). Le cours d'eau Esoa présente les valeurs les plus élevées et le cours d'eau Mbouroukou les moins élevées.



**Figure 49:** Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon & Weaver et de l'équitabilité de Piélou dans les différentes stations (A) et des sous-bassins versants (B) pendant la période d'étude.

### III.1.2.7.2. Indice de similarité de Sørensen

L'indice de similarité de Sørensen dans les différents cours d'eau montre des valeurs plus élevées entre les stations Eg3 et Eg2 (83,15%) suivis des stations Mb1 et Mb2 (80,49%) et des stations Mb1 et Es1 (80%) traduisant le niveau de similarité des peuplements macroinvertébrés benthiques de ces milieux.

**Tableau XVIII:** Valeurs du coefficient de similarité de Sørensen (%) entre les communautés macrobenthiques récoltées aux différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude.

Stations	Mo1	Mo2	Mo3	Es1	Es2	Es3	Eg1	Eg2	Eg3	Mb1	Mb2	Mb3
Mo1	<b>100</b>											
Mo2	78,65	<b>100</b>										
Mo3	72,09	74,73	<b>100</b>									
Es1	71,74	78,35	70,21	<b>100</b>								
Es2	65,91	73,12	71,11	62,50	<b>100</b>							
Es3	69,33	65,00	70,13	60,24	65,82	<b>100</b>						
Eg1	79,52	75,00	63,53	74,73	66,67	64,86	<b>100</b>					
Eg2	65,12	65,93	68,18	63,83	73,33	72,73	70,59	<b>100</b>				
Eg3	68,97	67,39	71,91	65,26	70,33	71,79	67,44	83,15	<b>100</b>			
Mb1	65,82	64,29	56,79	73,56	57,83	62,86	71,79	59,26	60,98	<b>100</b>		
Mb2	73,56	76,09	71,91	80,00	68,13	69,23	79,07	67,42	66,67	80,49	<b>100</b>	
Mb3	68,29	73,56	66,67	71,11	62,79	68,49	76,54	69,05	68,24	72,73	77,65	<b>100</b>

### III.1.2.7.3. MIB et qualité des eaux étudiées sur la base de l'indice de Hilsenhoff (FBI)

Les valeurs de l'indice de Hilsenhoff dans le Moon ont varié entre 4,57 (station Mo1) et 7,42 (la station Mo3) traduisant une qualité des eaux variant de bonne à très mauvaise (Tableau XIV).

Dans l'Esoa, les valeurs de l'indice de Hilsenhoff ont varié de 4,70 (Es1) à 6,76 (Es3) montrant une évolution de l'état de bonne à mauvaise qualité des eaux (Tableau XIV).

Les valeurs de l'indice de Hilsenhoff dans l'Egnoki moins élevées dans l'ensemble traduisent des eaux de qualité excellente (2,65 à la station Eg1) à bonne (4,87 à la station Eg2) (Tableau XIV).

Dans le Mbouroukou, l'indice de Hilsenhoff a varié de 2,91 à 3,18 obtenu respectivement aux stations Mb3 et Mb1 montrant une qualité excellente des eaux avec une pollution organique peu probable (Tableau XIV).

**Tableau XIX:** Valeurs de l'Indice de Hilsenhoff dans les différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude.

stations	FBI	Qualité	Dégré de pollution organique
Mo1	4,57	Bonne	Pollution organique probable
Mo2	6,05	Assez mauvaise	Pollution importante probable
Mo3	7,42	Très mauvaise	Risque de forte pollution organique
Es1	4,70	Bonne	Pollution organique probable
Es2	5,96	Assez mauvaise	Pollution importante probable
Es3	6,76	Mauvaise	Pollution très importante probable
Eg1	2,65	Excellente	Pollution organique peu probable
Eg2	4,87	Bonne	Pollution organique probable
Eg3	3,21	Excellente	Pollution organique peu probable
Mb1	3,18	Excellente	Pollution organique peu probable
Mb2	3,19	Excellente	Pollution organique peu probable
Mb3	2,91	Excellente	Pollution organique peu probable

#### III.1.2.7.4. Qualité des eaux étudiées sur la base des indices EPT, EPTC EPTH et EPTD

Les valeurs des indices EPT, EPTC, EPTH et EPTD sont plus élevées aux stations Mo2 et Es1 traduisant un bon état écologique des eaux. Le rapport densité EPT/ densité des Chironomidae dont les valeurs culminent aux stations Mb1 et Mb2 indiqueraient que les milieux seraient peu perturbés avec un niveau de pollution peu perceptible et confirmeraient le bon état écologique des eaux.

**Tableau XX:** Variation spatiale de la richesse taxonomique des différents groupes descripteurs

Descripteurs	Mo1	Mo2	Mo3	Es1	Es2	Es3	Eg1	Eg2	Eg3	Mb1	Mb2	Mb3
<b>Abondance</b>	912	1411	2726	917	1466	1349	854	1061	1604	1881	3190	1848
<b>Richesse taxonomique</b>	42	47	44	50	46	33	40	44	45	37	45	40
<b>Indice EPT</b>	13	16	15	16	15	6	12	8	8	10	13	10
<b>Indice EPTD</b>	14	17	16	17	16	7	13	9	9	12	15	12
<b>Indice EPTC</b>	19	22	20	23	19	11	17	12	15	17	22	16
<b>Indice EPTH</b>	21	22	20	24	21	11	22	16	16	18	20	16
<b>Abondance EPT</b>	180	222	451	140	335	183	195	41	133	337	435	237
<b>Abondance Chiro</b>	15	92	295	9	53	187	9	396	163	5	6	10
<b>% EPT</b>	19,73	15,73	16,54	15,26	22,85	13,56	22,83	3,86	8,29	17,91	13,63	12,82
<b>% Chironomidae</b>	1,64	6,52	10,82	0,98	3,61	13,86	1,05	37,33	10,16	0,26	0,18	0,54
<b>Densité EPT/ Densité des Chironomides</b>	12,03	2,41	1,52	15,57	6,32	0,97	21,74	0,1	0,81	68,88	75,72	23,74

### III.1.2.8. Influence des paramètres physico-chimiques et météorologique sur le peuplement des macroinvertébrés benthiques

Les corrélations de Spearman réalisées entre les paramètres physico-chimiques, physico-chimiques et biologiques et biologiques ont permis d'établir des liaisons significatives aux seuils 1% et 5%.

Ainsi, des corrélations significatives et positives ont été observées entre le pH et les orthophosphates ( $r=0,222$  ;  $p=0,005$ ), la température et la couleur ( $r=0,220$  ;  $p=0,006$ ), la température et les nitrites ( $r=0,619$  ;  $p=0,01$ ), l'oxygène dissous et les MES ( $r=0,218$  ;  $p=0,006$ ), les STD et la conductivité ( $r=0,930$  ;  $p=0,000$ ), le pH et les Lumbricidae ( $r=-0,222$  ;  $p=0,005$ ), le dioxyde de carbone et les Lymnaeidae ( $r=0,239$  ;  $p=0,003$ ), la température et les Physidae ( $r=0,216$  ;  $p=0,007$ ), l'oxygène dissous et les Perlidae ( $r=0,211$  ;  $p=0,008$ ), la conductivité et les Atyidae ( $r=0,209$  ;  $p=0,009$ ), les MES et les Baetidae ( $r=0,252$  ;  $p=0,002$ ), le dioxyde de carbone et les Gomphidae ( $r=0,306$  ;  $p=0,000$ ), la conductivité et les Coenagrionidae ( $r=0,396$  ;  $p=0,000$ ), le nitrite et les Chironomidae ( $r=0,323$  ;  $p=0,000$ ), les orthophosphate et les Gyrinidae ( $r=0,214$  ;  $p=0,007$ ), les Lymnaeidae et les Physidae ( $r = 0,344$  ;  $p=0,000$ ), les Caenidae et les Planorbidae ( $r=0,658$  ;  $p=0,01$ ), les Physidae et les Chironomidae ( $r=0,480$  ;  $p=0,000$ ), les Gyrinidae et les Gomphidae ( $r = 0,318$  ;  $p=0,000$ ), les Atyidae et les Notonectidae ( $r=0,227$  ;  $p=0,004$ ), les Haplotaenidae et les Dugesiidae ( $r=0,207$  ;  $p=0,010$ ), les Oligoneuridae et les Cordulidae ( $r=0,248$  ;  $p=0,002$ ), les Siphonuridae et les Cordulegasteridae ( $r=0,406$  ;  $p=0,000$ ), les Leptophebidae et les Ephemerellidae ( $r=0,206$  ;  $p=0,010$ ).

Des corrélations négatives ont été observées entre l'oxygène dissous et les Baetidae ( $r=-0,293$  ;  $p=0,000$ ), l'oxydabilité et les Hydropsychidae ( $r=-0,248$  ;  $p=0,002$ ), la Température et les Ephemerellidae ( $r=-0,307$  ;  $p=0,000$ ), le nitrite et les Gerridae ( $r=-0,317$  ;  $p=0,000$ ), la turbidité et les Libellulidae ( $r=-0,225$  ;  $p=0,005$ ), l'azote ammoniacal et les Lymnaeidae ( $r=-0,237$  ;  $p=0,003$ ), les Blaberidae et les Physidae ( $r=-0,270$  ;  $p=0,001$ ), les Leptophebidae et les Lymnaeidae ( $r=-0,238$  ;  $p=0,003$ ), les Atyidae et les Belostomidae ( $r=-0,218$  ;  $p=0,006$ ), les Dugesiidae et les Gerridae ( $r=-0,265$  ;  $p=0,001$ ), les Notonectidae et les Dugesiidae ( $r=-0,237$  ;  $p=0,003$ ).

**Tableau XXI: Influence des paramètres météorologiques sur le peuplement de macroinvertébrés**

<b>MIB</b>	<b>Insolation</b>	<b>Précipitations</b>	<b>Ensoleillement</b>
Limnaeidae	0,217**	-0,168*	0,257**
thiaridae		0,161*	
Dugesidae			-0,160*
potamonidae	0,201*		0,232**
libellulidae			0,214**
gomphidae	0,174*		0,195*
lestidae	,205*		0,222**
corduliidae	,357**	-0,310**	0,358**
cordulegasteridae	0,163*	-0,163*	0,175*
hydropsychidae			-0,165*
philopotamidae	0,228**	-0,239**	0,249**
polycentropodidae		-0,168*	0,168*
sericostomatidae		-0,226**	0,197*
ephemerellidae			-0,203*
heptageniidae		-0,221**	
oligoneuridae	0,212**	-0,267**	0,235**
siphonuridae	0,248**	-0,279**	0,349**
leptophlebidae	-0,164*		-0,162*
baetidae	-0,319**		-0,341**
perlidae	-0,220**		-0,211**
simulidae	-0,253**		-0,261**
gyrinidae	0,164*		0,222**
hygrobidae	0,242**	-0,211**	0,268**

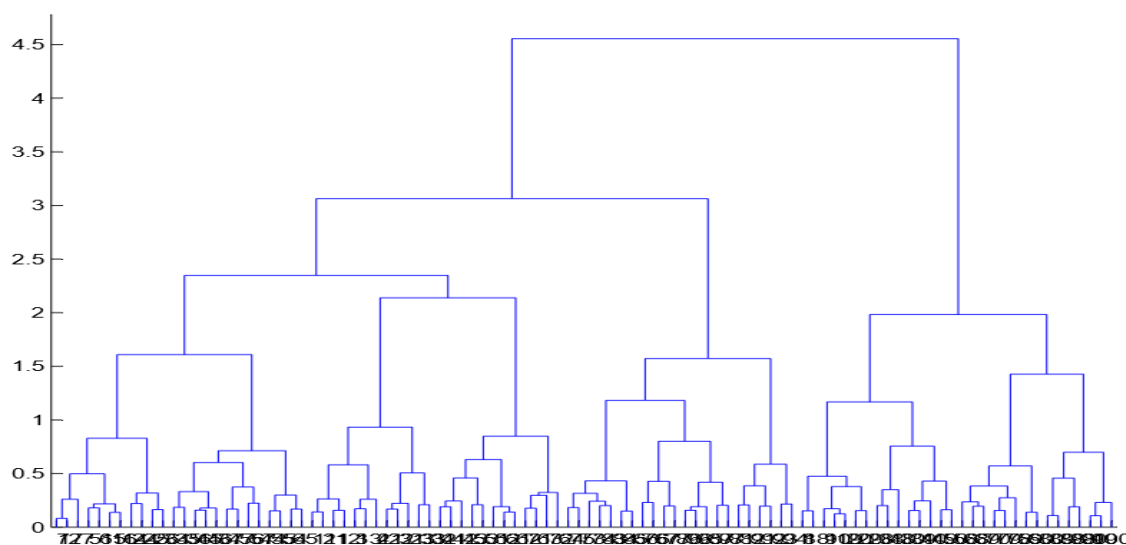
### III.1.2.9. Biotypologie des stations

La SOM (Self-Organizing Maps) a été réalisée à partir de la matrice d'abondance des macroinvertébrés benthiques et a permis de classer les 156 échantillons (12 stations × 13 campagnes). Sur la base des valeurs minimales des erreurs de quantification et de topographie (Tableau XVI), une carte auto-organisatrice de Kohonen de 100 cellules (10 lignes × 10 colonnes) a été retenue pour projeter les échantillons.

**Tableau XXI:** Différentes tailles de carte de Kohonen et les erreurs de quantification et de topographie correspondantes ; NB : la taille retenue et ses caractéristiques sont en gras

Taille de la carte	Erreur de quantification	Erreur de topographie
36 (6 × 6)	2,055	0,013
42 (7 × 6)	2,031	0,006
49 (7 × 7)	2,008	0,019
56 (8 × 7)	1,989	0,000
64 (8 × 8)	1,992	0,013
<b>100(10 × 10)</b>	<b>1,664</b>	<b>0,000</b>

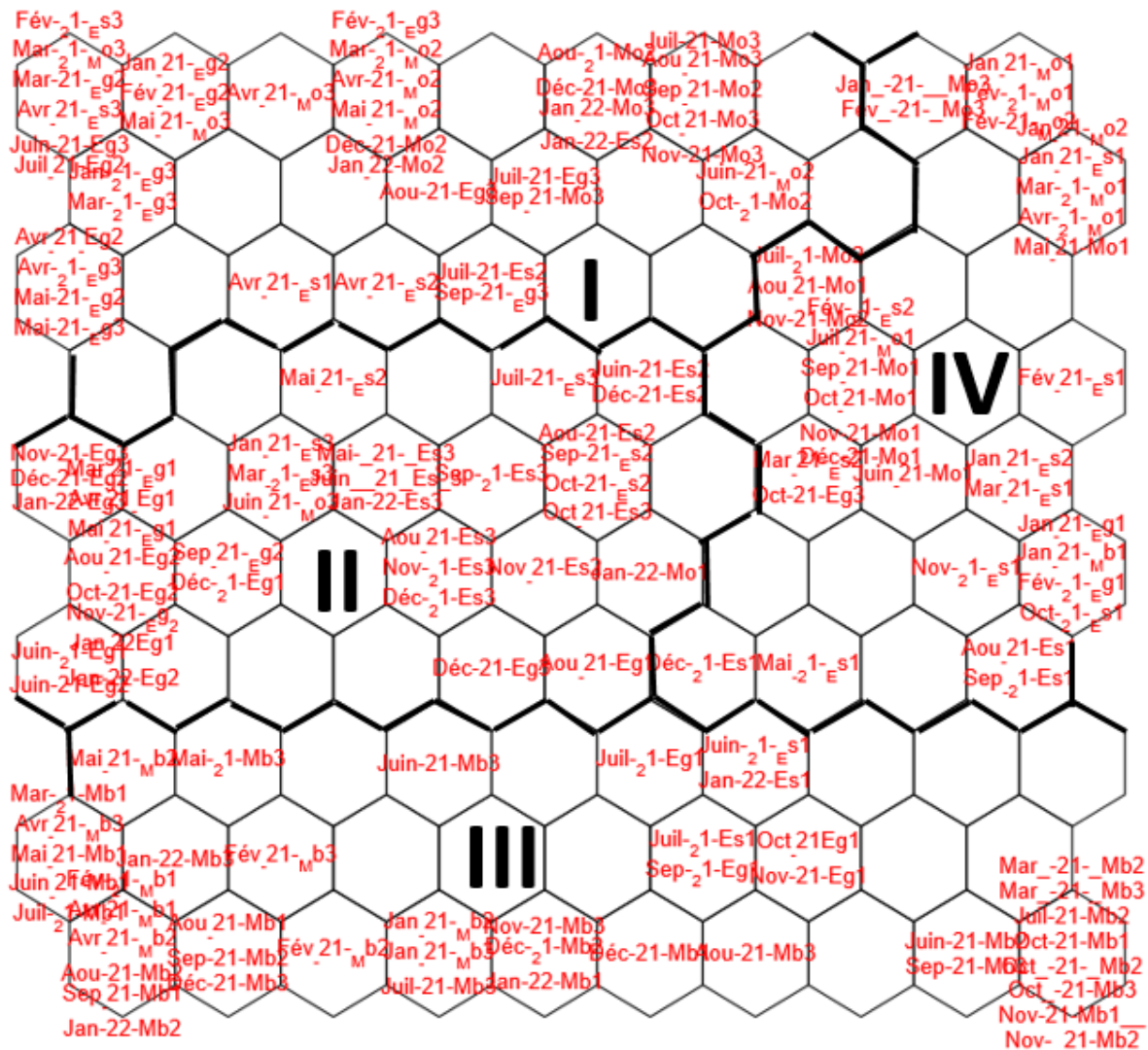
Par la suite, une classification hiérarchique a été réalisée pour regrouper les 100 cellules de la carte auto-organisatrice de Kohonen selon leurs affinités taxonomiques et déterminer les limites entre les groupes formés. Ces cellules sont réparties en quatre groupes (I à IV) à la distance euclidienne 2,9 selon la méthode de Ward (Figure 51).



**Figure 50:** Classification hiérarchique des cellules de la SOM par la méthode de Ward ; I, II, III et IV = groupes identifiés ; les nombres 1 à 100 correspondent aux numéros de cellules de la carte SOM.

La carte de Kohonen (Figure 52) montre la distribution des 156 échantillons dans les différents groupes. Le groupe I situé à l'angle supérieur gauche de la carte, est constitué de 40 échantillons répartis entre les stations Mo3 et Mo2 (10 échantillons chacune), les stations Eg2

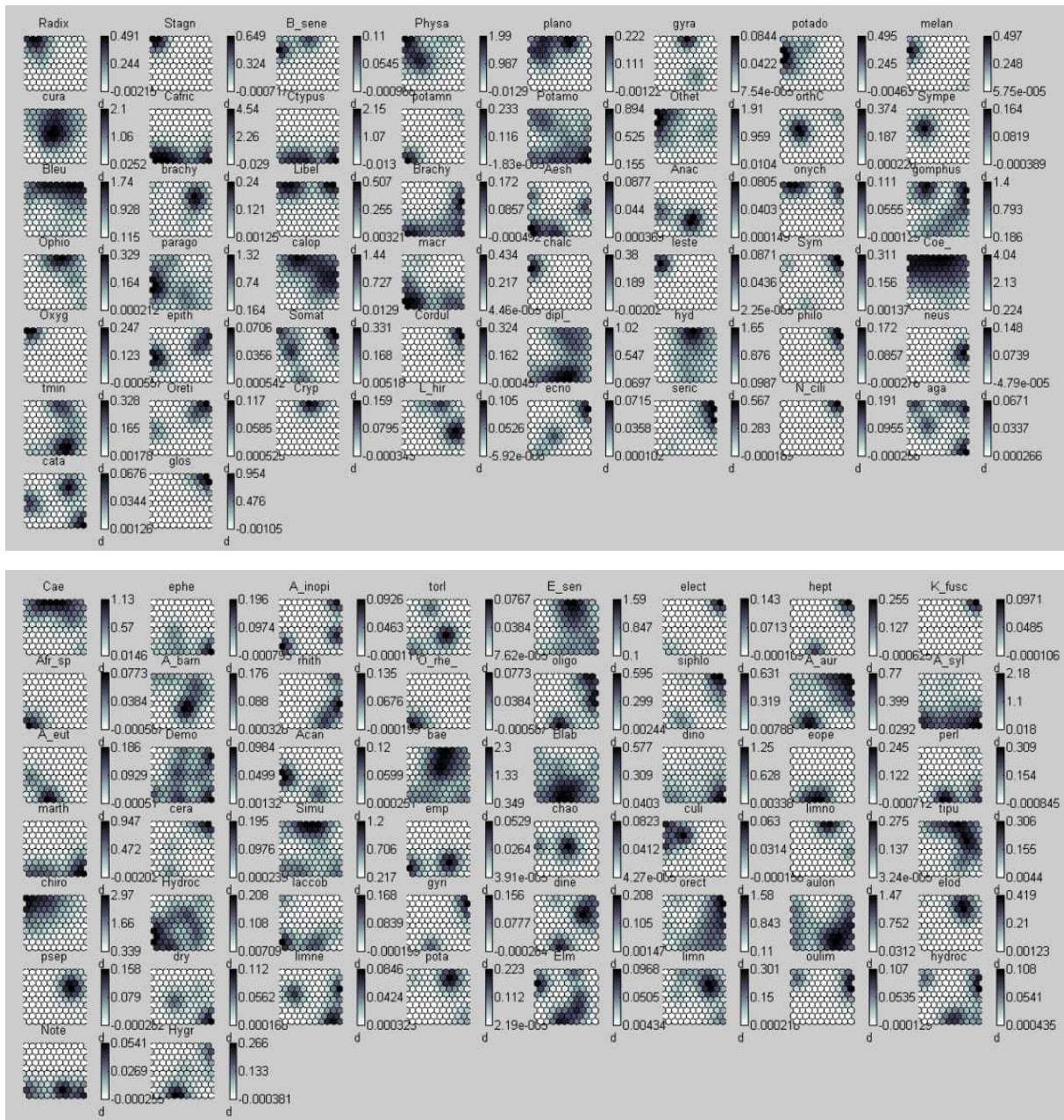
et Eg3 (07 échantillons chacune) et les stations Es2, Es3 et Es1 (3, 2, et 1 chantillons respectivement). Le groupe II rassemble 37 échantillons dont 9 proviennent de la station Es3, les stations Es2, Es3 et Eg1 regroupant 08 échantillons chacune, les stations Eg3, Mo1 et Mo2 disposant chacune d'un échantillon. Le groupe III réunit 45 échantillons dont 14, 12, 11, 4 et 3 proviennent des stations Mb2, Mb3, Mb1, Eg1 et Es1 respectivement. Le groupe IV comprend 34 échantillons dont 14 et 8 proviennent respectivement des stations Mo1 et Es1, 03 des stations Mo2 et Es2, 02 des stations Mo3 et Eg1 et 01 des stations Mb1 et Eg3.



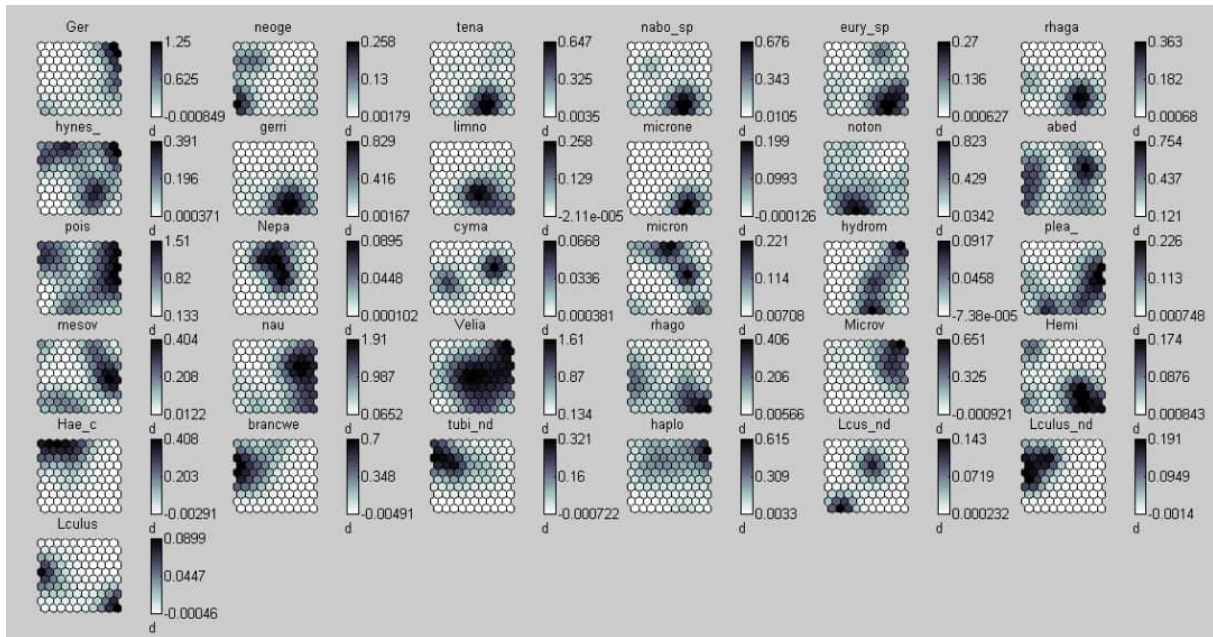
**Figure 51:** Distribution des échantillons sur la carte SOM à partir de la matrice d'abondance des macroinvertébrés benthiques : I à IV = groupes identifiés ; Mo1, Mo2, ..., Mb3 = stations ; les 13 mois d'échantillonnage (jan 21 = janvier 2021, fév = février, ..., jan 22 = janvier 2022).

## Profil de distribution de chaque taxon de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau étudiés

Les figures 53 et 54 présentent le profil de probabilité de distribution de chaque taxon de macroinvertébrés recensé dans les groupes définis par la SOM. La synthèse de cette répartition est indiquée sur la figure 55 qui montre que le groupe IV enregistre la plus forte richesse taxonomique avec 66 espèces, et le groupe II la plus faible avec 33 espèces. Quant aux groupes III et I, ils comptent respectivement 58 et 43 espèces.



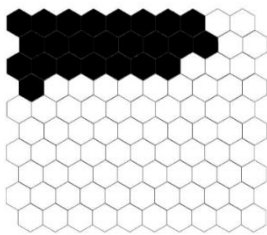
**Figure 52:** Patron de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisé à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle ; voir tableau XV pour les acronymes des taxons.



**Figure 53** : Patron de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM réalisé à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle ; voir tableau XVI pour les acronymes des taxons.

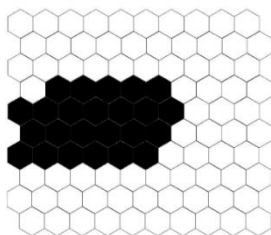
**Tableau XVI** : Repartition des espèces de macroinvertébrés benthiques dans les groupes repartis par la SOM

### Groupe I



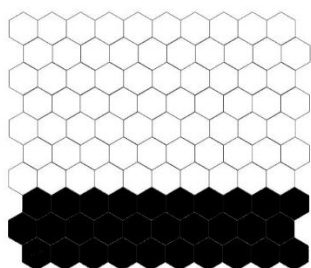
*Hynesionella omer-cooperi*, *Poissonia* sp., *Nepa* sp., *Micronecta* sp., *Haementeria costata*, *Branchiura sowerbyi*, Tubificidae nd, Lumbricidae nd, Lumbriculidae nd, *Caenis* sp., *Ephemerella sensu lato*, *Baetis* sp., *Limnogonus* sp., Tipulidae nd, *Chironomus* sp., Elodidae nd, Psephenidae nd, *Potamophilus* sp., *Elmis* sp., *Radix* sp., *Stagnicola* sp., *Bulinus senegalensis*, *Physa* sp., *Planorbis* sp., *Gyraulus* sp., *Potadoma* sp., *Cura foremenii*, *Orthetrum* sp., *Brachythemis leucosticta*, *Libellula* sp., *Onychogomphus* sp., *Ophiogomphus* sp., *Calopteryx* sp., *Chalcoleste* sp., *Leste* sp., *Coenagrion pro parte*, *Oxygastra curtisii*, *Somatochlora pro parte*, *Hydropsyche* sp., *Cryptothrix* sp., *Lepidostoma hirtum* sp., *Agapetus* sp.

### Groupe II



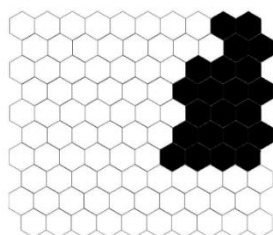
*Limnogonus* sp., *Abedus herbeti*, *Nepa* sp., *Cymatia* sp., *Hydrometra* sp., *Velia* sp., *Branchiura sowerbyi*, Tubificidae nd, Lumbriculidae nd, Lumbricidae nd, *Lumbriculus* sp., *Torleya* sp., *Ephemerella sensu lato*, *Afronurus barnadi*, *Acanthiops tsitsa*, *Baetis* sp., Simuliidae nd, Chaobidae nd, Culicidae nd, *Hydrochara* sp., *Limnebius* sp., *Physa* sp., *Planorbis* sp., *Potadoma* sp., *Othetrum Caffrum*, *Sympetrum pro parte*, *Brachythemis leucosticta*, *Anaciaeshna* sp., *Gomphus* sp., *Paragomphus* sp., *Epithea bimaculata*, *Catagapetus* sp., *Cura foremanii*.

### Groupe III



*Neogerris sp.*, *Tenaogonus albovittatus*, *Naboandelus sp.*, *eurymetra sp.*, *Rhagadotarsus sp.*, *Hynesionella omer-cooperi*, *Gerrisella settembrinoi*, *Micronecta sp.*, *Notonecta sp.*, *Micronecta spp.*, *Hydrometra sp.*, *Plea leachi*, Naucoridae nd, *Rhagovelia sp.*, *Hemiclepsis marginata*, Lumbricidae nd, *Lumbriculus sp.*, *Ephemerythus sp.*, *Amaletus inopinatus*, *Torleya sp.*, *Electrogena sp.*, *Afronurus sp.*, *Afronurus barnadi*, *Oligoneuriella sp.*, *Oligoneuriella rhenana*, *Adenophlebia auriculata*, *Adenophlebia sylvatica*, *Adenophlebia euthrus*, *Demorepus sp.*, Blaberide nd, *Dinocras sp.*, *Eoperla sp.*, *Perla sp.*, *Marthamea sp.*, Empididae nd, *Hydrochara sp.*, *Laccobius sp.*, *Dineutus sp.*, *Aulonogyryus flavipes.*, *Dryops sp.*, *Limnebius sp.*, *Elmis sp.*, *Hydrochus sp.*, *Noterus sp.*, *Hygrobia sp.*, *Caridina africana*, *Caridina typus*, *Potamon sp.*, *Brachytron pratense*, *Aeshna sp.*, *Anaciaeshna sp.*, *Paragomphs sp.*, *Macromia splendens*, *Diplectrona felix*, *Trichostegia minor*, *Agapetus sp.*, *Catagapetus sp.*

### Groupe IV



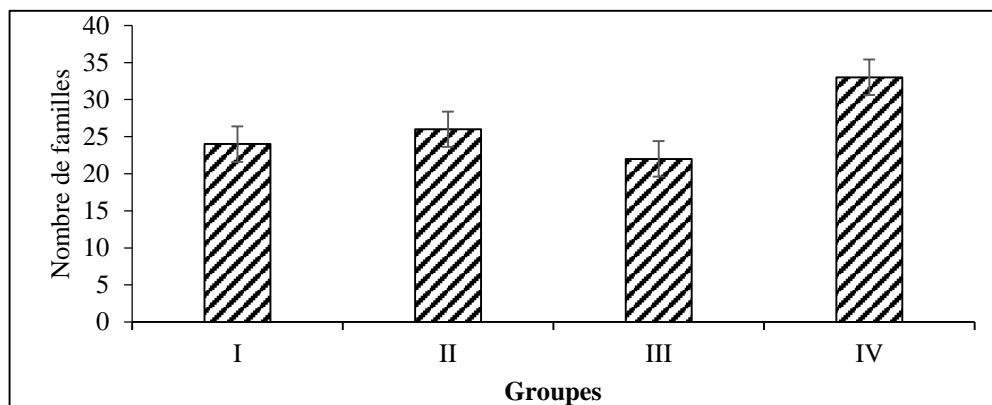
*Gerris sp.*, *Eurymetra sp.*, *Rhagadotarsus sp.*, *Hynesionella omer-cooperi*, *Limnogonus sp.*, *Abedus herbeti*, *Poissonia sp.*, *Nepa sp.*, *Cymatia sp.*, *Micronecta spp.*, *Hydrometra sp.*, *Plea leachi*, *Mesovelia sp.*, Naucoridae nd, *Velia sp.*, *Microvelia sp.*, *Hemiclepsis marginata*, Haplotaxidae nd, Lumbricidae nd, *Caenis sp.*, *Amaletus inopinatus*, *Torleya sp.*, *Electrogena sp.*, *Kageronia fuscogrisea*, *Rhithrogena sp.*, *Oligoneuriella sp.*, *Siphonurus sp.*, *Adenophlebia auriculata*, *Demoreptus sp.*, *Cura foremanii*, Empididae nd, Chaobidae nd, Tipulidae nd, *Gyrinus sp.*, *Dineutus sp.*, *Orectogyryus specularis*, *Aulonogyryus flavipes*, *Elodes sp.*, Psephenidae nd, *Limnebius sp.*, *Potamophilus*, *Elmis sp.*, *Limnius sp.*, *Oulinius sp.*, *Hydrochs sp.*, *Brachythemis lacustris.*, *Libellula sp.*, *Brachytron pratense*, *Aeshna sp.*, *Onychogomphus sp.*, *Gomphus sp.*, *Ophiogomphus sp.*, *Calopteryx sp.*, *Sympecma sp.*, *Epitheca bimaculata*, *Somatochlora pro parte*, *Cordulegasteridae nd*, *Phylopothamus sp.*, *Neureclepsis sp.*, *Lepidostoma hirtum*, *Ologostomis reticulata*, *Ecnomus sp.*, *Sericostoma sp.*, *Notidobia ciliaris*, *Agapetus sp.*, *Glossosoma sp.*

**Figure 54:** Distribution des taxons de macroinvertébrés aquatiques dans les différents groupes définis par la SOM.

Des 43 taxons constituant le groupe I, 10 (soit 23,25 %) sont présents exclusivement dans ce groupe, et aux stations Mo3, Mo2, Mb3, Es1, Es2, Es3, Eg1 et Eg2. Il s'agit de *Chalcoleste sp.*, *Leste sp.*, *Hydropsyche sp.*, *Chironomus sp.*, *Cryptothrix sp.*, *Bulinus senegalensis*, *Coenagrion pro parte*, *Radix sp.*, *Stagnicola sp.*, *Oxygastra curtisii*. Le groupe II compte 33 taxons dont 2 (soit 06,06% d'abondance relative), *Acanthiops tsitsa* et Simuliidae nd

sont issus des stations Mo1, Mo2, Es1, Es2, Es3, Eg1, Eg2 et Eg3. Sur les 58 taxons constituant le groupe III, 23 (soit 39,65% d'abondance relative) proviennent des stations Mb1, Mb2, Mb3, Es1 et Eg1 (*Neogerris* sp., *Tenaogonus albovittatus*, *Naboandelus* sp., *Gerrisella settembrinoi*, *Ephemerythus* sp., *Oligoneuriella rhenana*, *Adenophlebia sylvatica*, *Adenophlebia euthrus*, Blaberide nd, *Rhagovelia* sp., *Dinocras* sp., *Eoperla* sp., *Perla* sp., *Marthamea* sp., *Laccobius* sp., *Dryops* sp., *Noterus* sp., *Hygrobia* sp., *Caridina africana*, *Caridina typus*, *Potamon* sp., *Diplectrona felix*, *Trichostegia minor*). Quant au groupe IV, il est formé de 66 taxons dont 18 (soit 27,27% d'abondance relative) notamment : *Gerris* sp., *Mesovelia* sp., *Velia* sp., *Microvelia* sp., Haplotoxidae nd, *Electrogena* sp., *Kageronia fuscogrisea*, *Rhithrogena* sp., *Siphonurus* sp., *Orectogyrus specularis*, *Gyrinus* sp., *Epithea bimaculata*, *Cordulegasteridae* nd, *Phyloptamus* sp., *Neureclepsis* sp., *Ologostomis reticulata*, *Ecnomus* sp., *Sericostoma* sp., *Notidobia ciliaris*, proviennent des stations Mo1, Mo2, Mo3, Es1, Es2, Eg1, Eg3 et Mb1.

La présentation de la variation de la richesse taxonomique dans les différents groupes est illustrée par la figure 50. Ainsi, les groupes I et III, ont respectivement 36 et 33 familles dominées par les organismes polluosensibles (groupe 3) et les organismes polluo-résistants (le groupe 1). Le groupe II compte 29 familles supplantées par les organismes polluo-résistants. Quant au groupe IV, il compte 44 familles regroupant les organismes polluosensibles et polluo-tolérants (Figure 56).



**Figure 55:** Variation du nombre de familles dans les différents groupes de la SOM.

### III.1.2.10. Espèces caractéristiques et hiérarchisation des bioindicateurs des quatre cours d'eau à partir de l'indice *IndVal*

La classification des espèces par la méthode *IndVal* a été effectuée pour déterminer les principaux taxons bioindicateurs et mieux situer leur caractère indicateur relativement aux

conditions du milieu, en particulier les conditions de perturbation ou autres facteurs structurants du milieu. Cette analyse a permis d'isoler les taxons indicateurs à chaque niveau de partition et dans chaque groupe défini par la SOM. Cette méthode a montré trois niveaux de partition dont les deux premiers ne tiennent pas compte de la fidélité et de la spécificité.

Ainsi, dans la première partition, sur les 131 taxons pris en compte, 123 sont potentiellement bioindicateurs avec 54 potentiellement indicateurs d'un groupe (I, II, III et IV) et 69 potentiellement indicateurs des combinaisons de groupes (I+II, I+III, I+IV, II+III, II+IV, III+IV, I+II+III, I+II+IV, I+III+IV et II+III+IV). Les groupes I, II, III, IV regroupent respectivement 12, 5, 16 et 21 espèces potentiellement indicatrices, l'association groupes I+II, 8 espèces potentiellement indicatrices, l'association groupes I+III, 2 espèces potentiellement indicatrices, l'associations groupes I+IV, 12 espèces potentiellement indicatrices, les associations groupes II+III et groupes II+IV 3 espèces potentiellement indicatrices chacune, l'associations groupe III+IV compte 12 espèces potentiellement indicatrices, les associations groupes I+II+III, groupes I+II+IV, groupes I+III+IV et groupes II+III+IV présentant respectivement 1, 6, 11 et 11 espèces indicatrices (Annexe 1).

Dans la seconde partition, sur les 131 taxons pris en compte 57 apparaissent potentiellement bioindicateurs avec 42 sont potentiellement indicateurs d'un groupe (I, III et IV) et 15 des combinaisons de groupes (I+II, I+III, I+IV, II+IV, III+IV, I+II+III, I+II+IV, I+III+IV et II+III+IV). Dans cette partition, le groupe II n'a pas d'espèces potentiellement indicatrices contrairement aux groupes I, III, IV qui rend comptent respectivement 8, 11 et 12. L'association groupes I+II présente 4 espèces potentiellement bioindicatrices, l'association groupe I+III une seule espèce bioindicatrice, l'association groupes I+IV 6 espèces potentiellement bioindicatrices, l'association groupes II+IV une seule espèce bioindicatrice, l'association groupes III+IV, 4 espèces potentiellement bioindicatrices, l'association des groupes I+II+III une seule espèce potentiellement bioindicatrice, l'association groupes I+II+IV 3 espèces potentiellement bioindicatrices, l'association groupes I+III+IV 4 espèces potentiellement bioindicatrices et l'association groupes II+III+IV 2 espèces potentiellement bioindicatrices (Annexe 2).

Dans la troisième partition, sur les 131 taxons pris en compte, 57 sont bioindicateurs avec 26 indicateurs d'un groupe (I, III et IV) et 31 indicateurs des combinaisons de groupes (I+II, I+III, I+IV, II+IV, III+IV, I+II+III, I+II+IV, I+III+IV et II+III+IV). Cette partition prend en compte la spécificité et la fidélité (Annexe 3).

Ainsi, Au niveau du GI, 8 taxons dont la valeur IndVal varie de 26,5% à 51,7% ont été définis comme étant des bioindicateurs significatifs des conditions de ce groupe. Il s'agit de 04

taxons appartenant à l'ordre des Basommatophores (*Radix* sp., *Stagnicolas* sp., *Planobis* sp., et *Bulinus senegalensis*), 01 à l'ordre des Odonates (*Chalcoleste* sp.), 1 à l'ordre des Mesogastropodes (*Melania tuberculata*) et 1 à l'ordre des Branchiobdellides (*Haementeria costata*). *Haementeria costata* avec un indice Indval = 51,7%, une spécificité = 89,01% et une fidélité = 30,00% apparaît comme le meilleur bioindicateur de ce groupe. Avec une forte spécificité (A= 93,60%) couplée à une très faible fidélité (B= 7,50%), *Melania tuberculata* apparaît comme le taxon le moins indicateur du groupe (IndVal = 26,5%) (Annexe 3).

Au niveau du GII, aucun taxon n'a été défini comme étant indicateur significatif.

Au niveau du GIII, 11 taxons dont la valeur IndVal varie de 29,8% à 89,6% ont été définis comme indicateurs significatifs des conditions du milieu. Il s'agit de 3 taxons de l'ordre des Plécoptères (*Eoperla* sp, *Dinocas* sp, et *Marthamea* sp), 2 taxons de l'ordre des Ephéméroptères (*Adenophlebia sylvatica*, et *Ephemerythus* sp.), les Décapodes (*Caridina africana*, *Caridina typus*), les Hétéroptères (*Gerrisella settembrinoi*, *Naboandelus* sp.), le Coléoptère *Laccobius* sp., et l'Odonate *Macromia splendens*. Le meilleur bioindicateur du GIII est *Caridina africana* (Indval = 89,6% ; A= 95,11%, B= 84,44%) le piètre indicateur est *Ephemerythus* sp. (IndVal = 29,8%) A = 80,0% (Annexe 3).

Enfin au niveau du groupe IV, 12 taxons dont la valeur IndVal varie de 26,1% à 70,5% ont été définis comme indicateurs significatifs des conditions du milieu. Il s'agit de 3 taxons des ordres des Trichoptères (*Sericostoma* sp., *Glossosoma* sp. et *Philopotamus* sp.) et des Hétéroptères (*Gerris* sp., *Microvelia* sp. et *Naucoridae* nd) et 2 des Ephéméroptères (*Siphonurus* sp. et *Rhithrogena* sp.), Coléoptères (*Dineutus* sp. et *Psephenidae* nd ) et des Odonates (*Brachythemis lacustris* et *Cordulegasteridae* sp.). Le taxon le plus indicateur du GIV est *Naucoridae* nd (Indval = 70,5% ; A= 64,34%, B= 77,14%) *Rhithrogena* sp. (IndVal = 26,1%) avec une spécificité de (A = 79,41%) et une fidélité de (B = 8,57%) se présentant comme moins indicateur.

La combinaison des groupes (GI + GII), nous laisse décélérer 4 taxons indicateurs significatifs appartenant aux ordres des Diptères (*Chironomus* sp.), Haptotaxida (*Branchiura sowerbyi*), des Basommatophores (*Physa* sp) et des Mesogastropodes (*Potadoma* sp.). La valeur IndVal de ces taxons varie entre 41,4% à 81,9%. De cette combinaison, le taxon le plus indicateur est *Chironomus* sp (Indval = 81,9% ; A= 92,94%, B= 72,37%) et le moins indicateur est *Potadoma* sp ceci malgré sa forte spécificité (Indval = 41,4% ; A= 100%, B= 17,11%).

Le mélange des groupes GI + GIII, ne donne qu'un seul taxon indicateur qui est *Simulidae* nd de l'ordre des Diptères ayant pour Indval 65,9%, pour spécificité A= 83,91% et pour fidélité A= 51,76%.

La fusion des groupes GI + GIV, révèle 06 taxons indicateurs dont la valeur IndVal est comprise entre 31,2% à 83,4%. Quatre de ces taxons appartiennent à l'ordre des Odonates (*Brachythemis leucosticta*, *Calopteryx* sp., *Libellula* sp. et *Ophiogomphus* sp.), 01 taxon à l'ordre des Ephéméroptères (*Caenis* sp) et 01 à l'ordre des Diptères (*Tipulidae* nd). Des 06 taxons, 03 ont une valeur IndVal  $\geq$  50,0% il s'agit de *Brachythemis leucosticta* (IndVal = 83,4% ; A= 93,09% et B= 74,67%), *Calopteryx* sp (IndVal = 78,7% ; A= 87,57% et B= 70,67%) et *Caenis* sp (Indval = 62,3% ; A= 94,04% et B= 41,33%) (Tableau XVI).

Le brassage des groupes GII + GIV ne donne qu'un seul taxon indicateur qui est *Velia* sp de l'ordre des Hétéroptères avec pour Indval 83,8%, spécificité A= 84,57% et fidélité B= 83,10%.

La combinaison des groupes GIII + GIV donne quatre taxons indicateurs dont la valeur IndVal est < 50%. Ces taxons appartiennent aux ordres des Ephéméroptères (*Oligoneuriella rhenana* (Indval = 53,6%, A= 92,01% B= 13,75%), Odonates (*Brachytron pratense* : Indval = 35,4%, A= 100% B= 12,50%), Hétéroptères (*Tenagogonus albovitus* : Indval 33,1%, A= 100% B= 11,25%) et Plécoptères (*Perla* sp.: Indval =31,6%, A= 100% B= 100%).

L'assemblage des groupes GI+GII+GIII ne donne qu'un seul taxon indicateur qui est *Paragomphus* sp de l'ordre des Hétéroptères avec pour Indval = 62,7%, spécificité A= 89,8% et fidélité B= 43,8%.

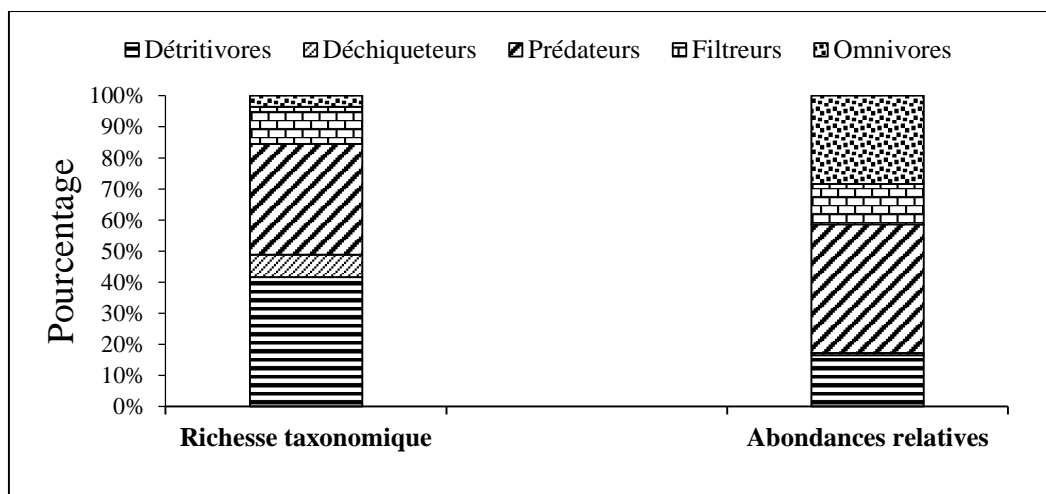
La combinaison des groupes GI +GII+ GIV, présente 03 taxons indicateurs dont la valeur IndVal est comprise entre 68,8% à 98,2%. 02 appartenant à l'ordre des Odonates (*Coenagrion pro parte* IndVal = 98,2% ; A= 99,15% et B= 97,30% et *Orthtrum* sp IndVal = 68,8% ; A= 99,08% et B= 47,75%) et 01 à l'ordre des Triclades (*Cura foremanii* IndVal = 74,3% ; A= 98,91% et B= 55,86%).

L'association des groupes GI +GIII+ GIV, donne 04 taxons indicateurs dont la valeur IndVal est comprise entre 51,6% et 73,2%. Ces taxons appartiennent aux ordres des Odonates (*Gomphus* sp.), des Hétéroptères (*Poissonia* sp.), Trichoptères (*Diplectrona felix*) et Ephéméroptères (*Adenophlebia sylvatica*), 02 de ces taxons ayant une valeur IndVal  $\geq$  70%. Il s'agit de *Poissonia* sp (IndVal = 73,2% ; A= 91,98% et B= 58,33% et *Gomphus* sp. (IndVal = 70,3% ; A= 94,09% et B= 52,50%).

Enfin le mélange des groupes GII+GIII+GIV conduit à 02 taxons indicateurs appartenant aux ordres des Coléoptères (*Aulonogyrus flavipes* avec une IndVal = 61,8% ; une spécificité de 90,53% et une fidélité de 42,24%) et des Dictyoptères (*Blaberidae* nd avec une IndVal = 56,2%, une spécificité de 87,12% et une fidélité de 36,21%).

### III.1.2.11. Structure trophique des macroinvertébrés benthiques

Les différents taxons de la macrofaune benthique inventoriés dans l'ensemble des stations ont été répartis dans cinq des six groupes fonctionnels alimentaires définis par Cummins & Wilzbach (1985) et Tachet *et al.* (2010). Il s'agit des détritivores, des déchiqueteurs, des prédateurs, des filtreurs et des omnivores. La distribution de la richesse taxonomique globale montre que les détritivores et les prédateurs dominent avec respectivement 41,66 % et 35,71 % de taxons ; suivis des filtreurs (11,90 %), des déchiqueteurs (7,14 %) et des omnivores (3,57 %). Considérant l'aspect quantitatif, les prédateurs prédominent avec 41,41 % d'abondance relative, suivis des omnivores (28,39 %), des détritivores (16,53 %), des filtreurs (12,93 %) et des déchiqueteurs (0,72 %) (Figure 57).



**Figure 56:** Profil trophique des proportions de la richesse taxonomique et des abondances relatives des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude.

A l'échelle des cours d'eau, les profils des proportions de la richesse taxonomique et des abondances relatives dans les cinq groupes fonctionnels alimentaires des macroinvertébrés benthiques sont représentés par les figures 58 A et 58 B.

A l'échelle des stations, le profil de distribution de la richesse taxonomique de ces groupes trophiques (Figure 59) révèle qu'excepté les stations Mo1, Mo3 et Eg3, les prédateurs prédominent avec des pourcentages compris entre 39,39 % (Es 3) et 53,55 % (Mb2). Par contre, ce sont les détritivores qui dominent dans les stations Mo1 (42,85%), Mo3 (36,36%) et Eg3 (44,44%), suivis des filtreurs avec des pourcentages compris entre 8,88% (Eg3) et 18,18% (Es3). Les déchiqueteurs cumulent en moyenne 5,74% de taxons à chaque station. Les omnivores enregistrent la plus faible richesse taxonomique avec une fourchette de 2,17 % (Es2) à 8,10 % (Mb1).

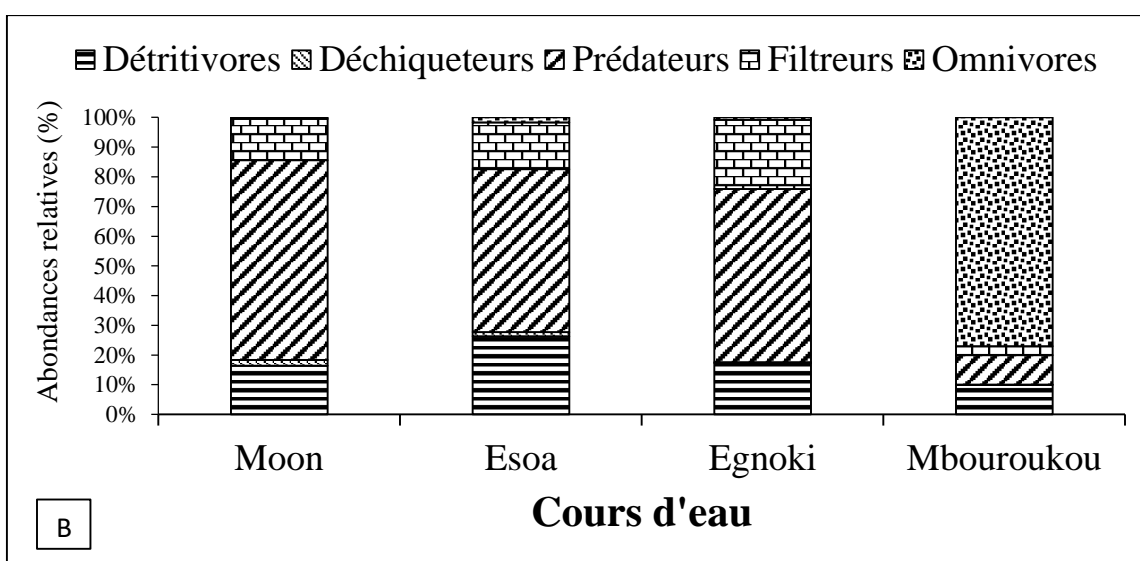
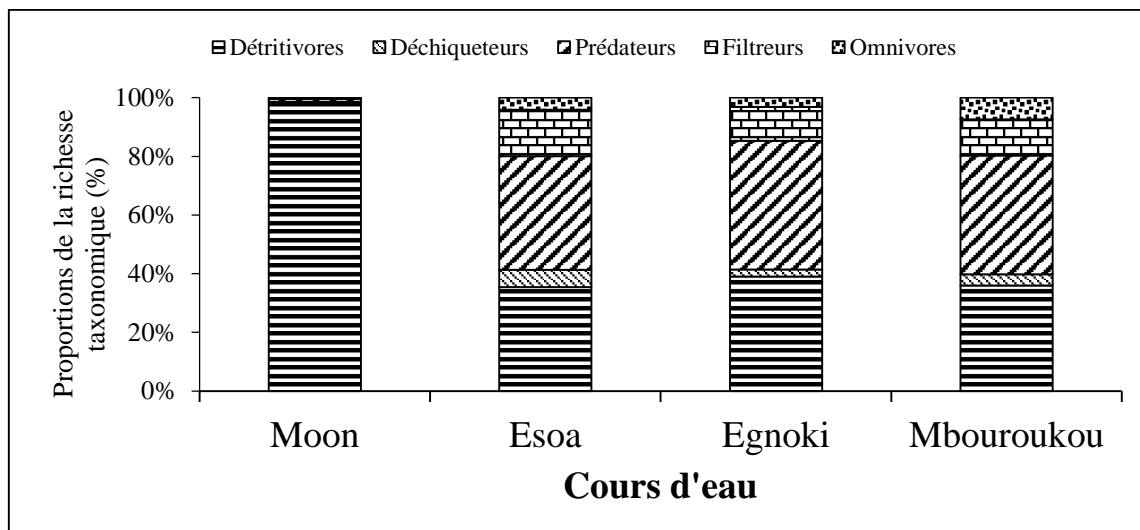


Figure 57: Profil trophique des macroinvertébrés benthiques recoltés dans les cours d'eau.

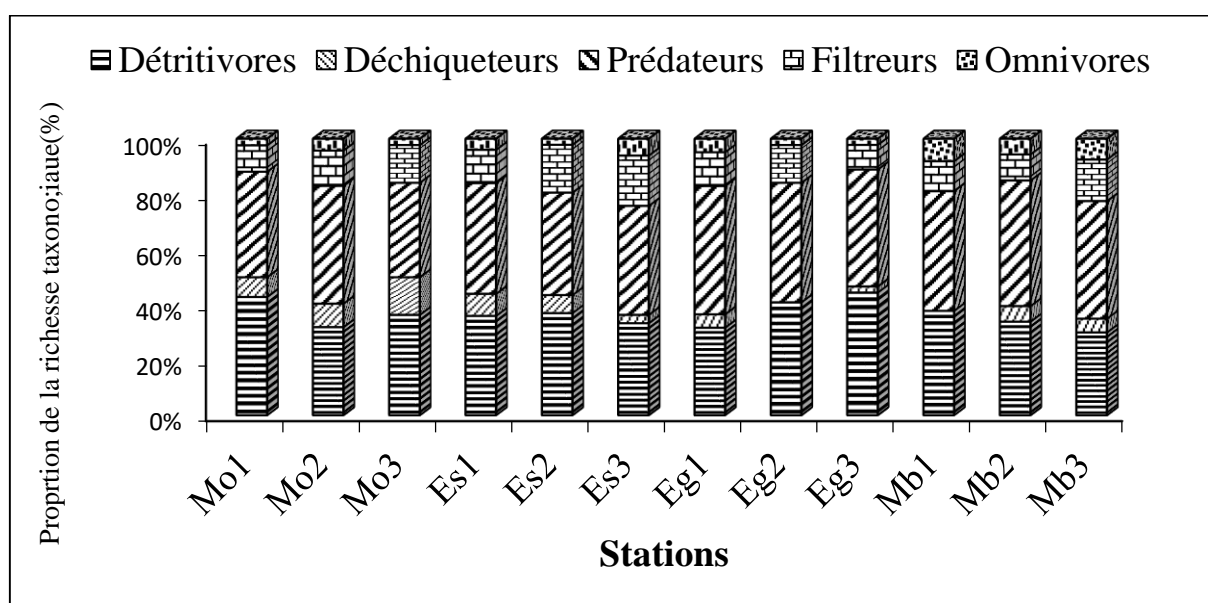
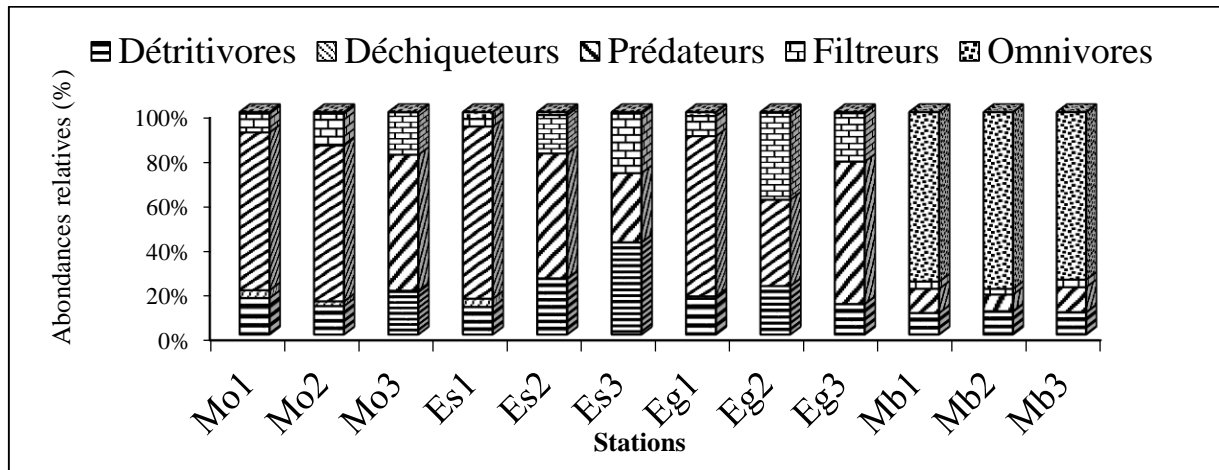


Figure 58: Profil trophique des proportions de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude.

Le profil de variation spatiale des abondances relatives de ces différents groupes trophiques (Figure 60) montre que les prédateurs exceptés aux stations Es3, Eg2, Mb1, Mb2 et Mb3 sont les plus abondants avec les abondances relatives comprises entre 56,13 % (Es2) et 77 % (Es1). Dans les 3 stations (Mb1, Mb2, et Mb3) les omnivores sont plus abondants et oscillent entre 75,24 % (Mb3) et 79,47 % d'abondances relatives (Mb2), suivis des filtreurs qui abondent avec des abondances relatives comprises entre 2,53% (Mb2) et 39,01% (Eg2). Les déchetteurs sont absents aux stations Eg2 et Mb1.



**Figure 59:** Profil trophique des abondances relatives des macroinvertébrés benthiques inventoriés aux différentes stations pendant la période d'étude.

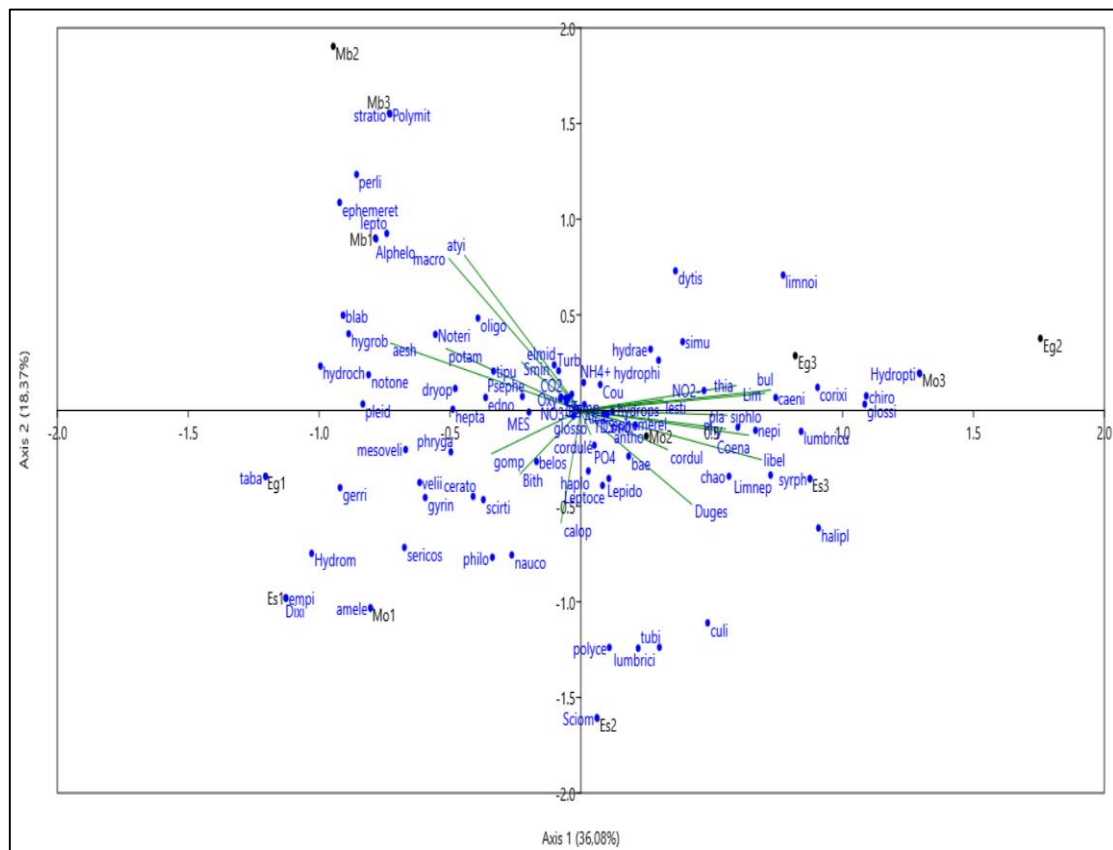
### III.1.2.12. Typologie abiotique des stations

Dans le but d'établir l'influence des variables environnementales sur l'abondance des principaux taxons de macroinvertébrés benthiques inventoriés dans la zone d'étude, une Analyse Canonique de Correspondances (ACC) a été effectuée. Les deux premiers axes (axe 1 = 36,08 % et axe 2 = 18,37 %) utilisés pour l'expression des résultats de l'ACC cumulent 54,45 % de l'inertie totale.

L'ordination de cette ACC dans le plan factoriel 1×2 permet de dissocier nettement les échantillons en deux grands groupes (Figure 61). L'axe 1 isole en coordonnées positives les échantillons récoltés au niveau des stations Mo2, Mo3, Es2, Es3, Eg2 et Eg3. Ces stations sont caractérisées par un faible couvert végétal (station Es3 et Eg3), une forte oxygénation, une faible canopée (stations Mo2, Mo3, Es2 et Eg2), une couleur moyenne, un taux moyen de nitrites et élevé d'orthophosphates, des eaux peu turbides, un faible taux d'azote ammoniacal, des valeurs moyennes de l'IPO et un substrat sableux et vaseux. Globalement, dans de telles conditions, les taxons constamment rencontrés sont les Thiaridae, Simulidae, Hydroptilidae, Corixidae, Hydraenidae, Limonidae, Caenidae, Lymnaeidae, Bulinidae, Chironomidae, Hydrophilidae, Polycentropodidae, Lumbricidae, Sciomyzidae, Dugesidae, Corduliidae,

Libellulidae, Culicidae, Baetidae, Lepidostomatidae, Lumbriculidae, Chaobidae, Coenagrionidae, Syrphidae, Limnephilidae, Nepidae, Siphonuridae, Hydropsychidae, Anthomyiidae, Lestidae, Ephemerellidae, Glossiphonidae, Tubificidae et Dytiscidae.

Dans sa partie négative, l'axe 1 regroupe les autres échantillons provenant des stations Mo1, Es1, Eg1, Mb1, Mb2 et Mb3. Ces stations sont caractérisées par une présence de la canopée, une forte oxygénation et une faible minéralisation des eaux, des basses températures, un pH légèrement basique, une faible charge en matières organiques et un substrat de type sablo-vaseux. Ces conditions de milieu sont propices à la prolifération des taxons tels que les Atyidae, Leptoceridae, Noteridae, Oligoneuriidae, Ephemerethydae, Blaberidae, Gyrinidae, Gerridae, Notonectidae, Polymitarcidae, Gomphidae, Glossosomatidae, Sericostomatidae, Scirtidae, les Elmidae, Hydrometridae, Veliidae, Mesoveliidae, Naucoridae, Potamonidae, Ednomidae, Phryganeidae, Aeshnidae, Perlidae et Leptophlebiidae.



**Figure 60:** Analyse Canonique de Correspondances (ACC) des principaux taxons de macroinvertébrés benthiques et des variables environnementales (Alca = Alcalinité, NH4 = Azote ammoniacal, Cond = Conductivité, O2 = Oxygène dissous, NO3. = Nitrates, NO2. = Nitrites, Oxy = Oxydabilité, PO<sup>4</sup> = Orthophosphates, MES = Matières en suspension, TDS = Solides Totaux Dissous, Temp = Température, Turb = Turbidité, Cou = Couleur, CO2 = Gaz carbonique dissous Voir tableau XV pour les acronymes des taxons.

## III.2. Discussion

### III.2.1. Caractérisation physico-chimique des cours d'eau

#### III.2.1.1. Caractérisation physique

Les valeurs de température indiquent de faibles variations thermiques dans les eaux. Ces faibles fluctuations (18,3°C et 21,9°C) seraient dues aux heures de prélèvement, au climat et la température ambiante d'une part, puis à la faible pénétration des rayons lumineux à la surface des cours d'eau, due à la forte présence du couvert végétal qui constitue une barrière naturelle réduisant l'impact des rayons solaires sur la variation de la température de l'eau le long de la rivière, d'autre part. A cet effet, Vannote *et al.* (1980) et Qiu (2013) soulignent que dans les cours d'eau de tête de bassin situés en zone forestière, les températures sont basses et varient très peu. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Tchakonté *et al.* (2015) sur les cours d'eau périurbains de la ville de Douala. Par contre, les fortes valeurs de température (25,9°C-28,9°C) observées s'expliqueraient par la forte urbanisation du bassin versant qui expose le plan d'eau aux rayons solaires. Selon Jain (2012) et Porse (2013), l'occupation anarchique des sols, la surpopulation et l'industrialisation sont des facteurs qui interfèrent pour augmenter la température ambiante et par conséquent, celle des rivières en milieu urbain.

La turbidité (6,84±5,8 FTU), la couleur (123,45±78,83 Pt-Co) et les MES (12,02±10,10 mg/l) présentent des valeurs moyennes 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 et Tchakonté (2016) sur le Tongo'a-Bassa. Toutefois, les fortes valeurs de ces paramètres (29 FTU, 469 UC et 101 mg/l) pourraient s'expliquer par la perte de 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. Il s'ensuit une baisse considérable de la teneur des matières en suspension avec le retour de la saison des pluies par le phénomène de dilution. Pour ce qui est de la turbidité et de la couleur, les valeurs relativement élevées seraient dues d'une part à la décomposition de la matière organique issue du phénomène de ruissèlement et d'autre part, au substrat de fond qui libère dans le milieu des substances telles que les acides humiques et les substances colloïdales.

### III.2.1.2 Caractérisation chimique

Les valeurs élevées de l'oxygène dissous enregistrées pendant l'étude seraient dues à la forte activité photosynthétique du bassin versant, la ventilation naturelle induite par le feuillage, la présence de radiers et des méandres qui créent des conditions de turbulence et de recirculation 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. À cet effet, 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 se rapprochent de ceux de Tchakonté *et al.* (2014), Foto Menbohan *et al.* (2012, 2013 et 2017) où des taux moyens supérieurs à 75% ont été enregistrés dans quelques cours d'eau forestiers. Par ailleurs, l'AE (1999) et Foto Menbohan *et al.* (2013) affirment que les eaux ayant un taux de saturation en oxygène supérieur à 70% sont favorables à l'épanouissement de la macrofaune benthique et propice à la production de l'eau potable, en cas de débit acceptable.

Les faibles valeurs de l'oxydabilité obtenues dans les eaux seraient un indice de la faible charge de ces eaux en matière organique et inorganique oxydables, et renseigneraient par conséquent sur la faible activité métabolique des groupes décomposeurs. Ces observations corroborent celles de Williams *et al.* (2012). Quant aux fortes valeurs de l'oxydabilité enregistrées, elles s'expliqueraient par l'apport excessif des matières organiques et inorganiques d'origine anthropique dans les cours d'eau. À cet effet, 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. Ces résultats se rapprochent de ceux de Foto Menbohan *et al.*(2012), Tchakonté (2016), sur les cours d'eau urbains de Yaoundé et Douala,.

Les fortes teneurs de l'eau en azote minéral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et en Orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) pourraient être liées aux apports de rejets urbains, aux eaux usées domestiques, à la lessive et à la minéralisation de la masse critique de matière organique déversée soit directement dans le cours d'eau ou simplement charriée par les eaux pluviales et de ruissellement. A ce propos, Wang *et al.* (2014) renchérissent en soulignant que l'activité métabolique des bactéries dénitrifiantes diminue avec l'urbanisation associée à la multiplication des facteurs stressants. En effet, certaines stations constituent le lieu de baignade et de défécation de certains habitants. Or les matières fécales et les eaux usées domestiques sont très riches en composés azotés et phosphorés (Mary, 1999).

D'une manière générale, les valeurs de pH (6,2UC-9,4UC) enregistrées traduisent la nature légèrement acide à basique des eaux. Cette fluctuation serait liée à divers facteurs tels que la nature géologique du sol (hydromorphes et ferrallitiques), l'activité des organismes aquatiques, les rejets d'eaux usées et différents déchets introduits dans le lit du cours d'eau. À cet effet, Temgoua *et al.* (2003), Mbega (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) souligne 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 (5,5-10,2) 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 Ndog-Bissolo (5,25-7,34) situé dans la même région écologique.

Les faibles valeurs de l'alcalinité des eaux observée (4 - 56 mg/L) serait due à la faible acidité et à la faible minéralisation de ces eaux, car le bassin versant est relativement peu anthropisé. Lévêque & Balian (2005) et Rodier *et al.* (2009) font remarquer à ce propos que les variations de l'alcalinité d'une eau sont étroitement liées au degré de minéralisation et d'oxydation des composés organiques. Mary (1999) ajoute que la nature du socle du bassin versant drainé influence également la concentration en hydrogénocarbonates et en bicarbonates, les sols calcaires et alcalino-terreux étant favorables à l'augmentation de l'alcalinité. En revanche, les fortes valeurs de l'alcalinité obtenues seraient dues aux apports d'eaux usées et de déchets alcalins d'origine anthropique. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Biram (2018) dans l'Abouda (2 – 24,1 mg/L).

Les faibles valeurs de la conductivité électrique et des TDS (< 600 mg/L) obtenues dans les cours d'eau seraient liées à la faible minéralisation des eaux, et à la faible pression anthropique qui est exercée dans ces sous-bassins versants. Elles s'apparentent aux valeurs obtenues par Onana (2015) et 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.

Les valeurs de l'IPO correspondent à un niveau de pollution faible à forte avec une moyenne modérée. Cette pollution modérée s'expliquerait par l'utilisation des intrants agricoles dans les bassins versants d'une part, couplée à l'utilisation de certaines portions du cours d'eau comme dépôt de déchets domestiques.

### **III.2.2. Dynamique d'abondance des macroinvertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau**

#### **III.2.2.1 Dynamique d'abondance de la richesse taxonomique**

La richesse taxonomique observée dans les quatre cours d'eau montre la grande diversité des Arthropodes par rapport aux Mollusques, aux Annélides et aux Plathelminthes. Ces résultats s'apparentent à ceux obtenus dans les cours d'eau peu anthropisés de la ville de Yaoundé. La richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques (84 familles) observée 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. On note également que la richesse taxonomique des cours d'eau de cette étude est supérieure à celle obtenue dans 5 cours d'eau du bassin du Mfoundi par Foto Menbohan *et al.* (2012) notamment l'Ekozoa, l'Ewoué, le Mingoa, le Ntsomo et le Tongolo, soit une richesse taxonomique cumulée de 29 familles. Ceci serait dû à un faible niveau d'anthropisation des bassins versants de notre étude et aussi à la présence d'une multitude de microhabitats propices à accueillir une faune plus diversifiée par rapport à ceux du Mfoundi, du Tongo'a-Bassa et du Mgoua. Nous notons que la classe des insectes est la plus diversifiée et la plus abondante, soit 92,42% d'abondance relative. En effet, cette prédominance et cette grande diversité, traduiraient le caractère peu anthropisé de ces bassins versants et la bonne qualité des eaux et de ce fait serait liée à leur capacité à coloniser les niches écologiques hétérogènes (Cayrou *et al.*, 2000). La relative similitude entre les richesses taxonomiques observées serait due au caractère hétérogène des microhabitats de ces cours d'eau. En effet, d'après Charvet (1995), Tachet *et al.* (2010), MDDEF (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.

La constance des Mollusques et des Annélides dans l'ensemble des cours d'eau du bassin versant serait imputable au caractère saprophile et saprobionte de ces organismes (Tachet *et al.* 2006; Moisan & Pelletier, 2008).

Par ailleurs, la présence des Crustacés-Décapodes, des taxons du groupe EPT, des Dictyoptères, de certaines familles de Coléoptères (Dytiscidae, Gyrinidae, Haliplidae, Scirtidae et Hydrochidae), d'Hétéroptères (Hydrometridae, Mesoveliidae, Veliidae et Gerridae), d'Odonates (Calopterygidae, Corduliidae et Gomphidae) dans les cours d'eau étudiés laisse sous-entendre que ces taxons présenteraient une certaine sensibilité à l'altération de la qualité physique et chimique du milieu. Ceci traduit une qualité écologique des eaux propice à

l'installation d'une grande diversité taxonomique de la macrofaune benthique sensible aux modifications des conditions de l'environnement, ce qui corrobore les résultats des analyses physicochimiques. Ces observations vont dans le même sens que les conclusions de certains auteurs (Durant & Lévêque, 1981 ; Bode *et al.*, 2002; Moisan & Pelletier, 2008; Dodds & Whiles, 2010; Tachet *et al.*, 2010; Alvial *et al.*, 2013; Morrissey *et al.*, 2013) qui stipulent que certains de ces taxons présentent une sensibilité moyenne à élevée face à une pollution organique. Mathuriau (2002), Edia *et al.* (2007) et Foto Menbohan *et al.* (2013) remarquent que les Plécoptères, Ephéméroptères, Gyrinidae et Atyidae sont réputés vivre dans des eaux bien oxygénées avec des microhabitats diversifiés. Franquet (1996), Arimoro *et al.*, (2007) et Milošević *et al.*, (2014) affirment que la famille des Chironomidae est très diversifiée, ubiquiste et regroupe un grand nombre d'espèces, genres, tribus et sous-familles (à l'instar des Orthocladiinae et Tanypodinae) qui sont polluosensibles.

En ce qui concerne la richesse taxonomique, on note une très grande disparité de la richesse taxonomique dans les quatre bassins versants étudiés. En effet, ce sont au total 69 taxons qui ont été inventoriés dans le bassin de l'Esoa, 62 dans le Moon, 60 dans l'Egnoki et 56 dans le Mbouroukou. Ceci serait dû au type de microhabitat et à la qualité ou au type d'environnement

### **III.2.2.1 Dynamique d'abondance des macroinvertébrés benthiques dans chaque cours d'eau**

L'abondance des Odonates dans le Moon, l'Esoa et l'Egnoki (41,19% de l'abondance totale) serait liée à un grand développement de la flore riveraine qui borde les cours d'eau. Toutefois, la présence de nombreux radiers dans ces cours d'eau augmenterait la vitesse d'écoulement des eaux, rendant le milieu non propice au développement des Odonates. La persistance et le pullulement de ces organismes dans ce milieu considéré pourtant comme hostile à leur épanouissement seraient liés à des facteurs en relation avec la nature volcanique des roches. Ce qui favoriserait le développement de ces organismes. À cet effet, Tachet *et al.* (2010) affirment que les Odonates affectionnent les faibles courants et se développent préférentiellement dans l'herbier.

L'abondance des crustacés représentés par les familles de Potamonidae et des Atyidae dans le cours d'eau Mbouroukou (77,03% de l'abondance totale) serait liée au taux d'oxygène dissous élevé dans ce cours d'eau, car Fogem (2005) et Tachet *et al.* (2010) soulignent la prolifération des crustacés décapodes d'eau douce dans les milieux bien oxygénés. Ces résultats

se rapprochent de ceux d'Ajeegah *et al.* (2018) qui avaient trouvé 3 taxons (Atyidae, Potamonidae et Paleamonidae) dans un cours d'eau peu anthropisé en forêt équatoriale. .

Au sujet des insectes aquatiques, Rios & Bailey (2006) et Song *et al.* (2009) mentionnent que le groupe EPTC constitue une part importante de la richesse spécifique et de l'abondance des macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau non-sujets aux perturbations anthropiques. A cet effet, Tchakonté (2016) affirment que les EPT ont une respiration branchiale et exigent de fortes teneurs de l'eau en oxygène dissous. Aussi, leurs branchies sont externes et en perpétuel contact avec le milieu aqueux, ce qui les rend vulnérables aux pollutions chimiques ou même mécaniques pouvant entraîner le colmatage de leurs organes respiratoires. La disparition des Plécoptères représentés par la seule famille des Perlidae aux stations Esoa3, Egnoki 2 et Egnoki 3 serait liée à l'augmentation des processus anthropiques et à la pollution organique observées dans ces bassins versants. En effet, ces espèces sont très sensibles à la pollution, ce qui expliquerait leur disparition à ses stations. À ce propos, Tuffery (1980) affirme qu'outre l'habitat aquatique, la chimie des eaux contribue également à expliquer la présence ou l'absence de certains organismes et conditionne leur développement. Ceci justifierait leur présence aux autres stations.

L'abondance des diptères chironomidae (aux stations Moon 3, Esoa 3, Egnoki 2 et Egnoki 3) et des Mollusques (Physidae) à ces mêmes stations serait due à l'accumulation des déchets ménagers dans le lit du cours d'eau qui réduiraient la vitesse d'écoulement, favorisant leur biodégradation et l'enrichissement du milieu en éléments favorables au développement de ces organismes. Pour ce qui est de la forte abondance des Physidae, elle serait due à la montée des eaux qui favoriserait le transport des déchets vers l'aval. A ce propos, Wang *et al.* (2012) et Bernot & Brandenburg (2013) ont montré que les Lymnaeidae et les Physidae affectionnent les milieux très pollués. En effet, ces Gastéropodes pulmonés sont mieux adaptés aux conditions difficiles du milieu étant donné que, outre leur coquille protectrice, ils peuvent assimiler l'air atmosphérique par l'intermédiaire de la cavité de leur manteau richement vascularisé. Ils sont en fait dotés d'un poumon et peuvent survivre pendant un temps plus ou moins long hors de l'eau (Tchakonté 2016). A cet effet, certains auteurs tels qu'Azrina *et al.* (2005), Moisan & Pelletier (2008), et Camara *et al.* (2012) soulignent que les ordres des Diptères, des Basommatophores et des Rhynchobdellidés sont saprophiles et saprobiontes, et pullulent dans les eaux ayant une pollution organique importante.

Sur le plan spatial, la diminution de l'amont vers l'aval de l'abondance des familles de macroinvertébrés benthiques s'expliquerait par la modification de leur habitat. A ce propos, Moisan et Pelletier (2008) soulignent que la baisse de l'abondance de la macrofaune benthique

est liée à la réduction des microhabitats. Par contre, on observe une tendance inverse pour ce qui est de l'abondance des individus. Cela pourrait se justifier par la croissance et la dominance des organismes saprophytes dues à la prolifération de la matière organique provenant principalement des déchets ménagers.

A l'échelle temporelle, la composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques connaît des perturbations suite aux changements hydrologiques qui s'opèrent entre les saisons consécutives. Ainsi, on note que les mois pluvieux sont globalement en faveur de l'augmentation de l'abondance des taxons de Macroinvertébrés benthiques. Cela s'observe par une baisse des abondances aux mois secs, suivie d'une reprise au mois pluvieux. Ce constat a également été fait par Foto Menbohan *et al.* (2010) qui soulignent que la stabilité des facteurs météorologiques serait en faveur de fortes diversités taxonomiques de macroinvertébrés benthiques. Selon Ajeegah *et al.*, (2014), un peuplement de macroinvertébrés est plus accentué pendant la saison de pluie dû à une mobilisation des ressources assimilables.

### **III.2.3. Indices biocénotiques**

#### **III.2.3.1 Indice de diversité de Shannon et Weaver et équitabilité**

Les faibles valeurs de l'indice de diversité de Shannon et Weaver et de l'équitabilité J de Piélu aux stations Mo3, Es3, Mb1, Mb2 et Mb3 reflètent la très faible diversité et la structure mal organisée et déséquilibrée des communautés macrobenthiques, s'expliquant par la forte abondance des familles de Coenagrionidae (*Coenagrion sp.*) dans le cours d'eau Moon, de Physidae (*Physa sp.*) et de Coenagrionidae (*Coenagrion sp.*) dans le cours d'eau Esoa et des Atyidae (*Caridina africana* et *Caridina typus*) qui représentent plus de la moitié des individus, donc une abondance relative 61,34%. Ces résultats vont en droite ligne avec 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 et domine le peuplement. Selon Dajoz (2000), les faibles valeurs de l'indice de diversité traduisent des communautés peu diversifiées avec un faible degré d'organisation.

Les stations Mo1, Es1 et Eg1 présentent par contre les plus fortes diversités. Ceci permet d'affirmer que la communauté de macroinvertébrés de ces stations est bien diversifiée et bien organisée. Les travaux de Tonkin *et al.* (2013) conduits dans certains cours d'eau de la Nouvelle Zélande, ont également montré que les indices de diversité étaient plus élevés dans les sites forestiers ayant une forte canopée. En effet, Lévêque & Balian (2005) affirment qu'un peuplement équilibré, où il n'y a pas de taxon qui domine largement en nombre, est plus stable. Toutefois, elles sont faunistiquement dissemblables tel que le montre l'indice de similitude de

Sörensen. De même, cette diversité spécifique ( $H'$ ) remarquable observée dans les cours supérieur et moyen de ses bassins versants 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 des cours d'eau.

### **III.2.3.1 Indice de Hilsenhoff (FBI)**

Pour ce qui est de l'indice de Hilsenhoff (FBI), ses faibles valeurs dans la plupart des stations d'échantillonnage des quatre cours d'eau de l'étude témoigneraient de la forte abondance dans ces cours d'eau de taxons (familles) de macroinvertébrés tolérant la pollution, car d'après Hilsenhoff (1988) et Bode *et al.*, (2002), cet indice est d'autant plus faible que les cotes de tolérance des taxons considérés tendent vers 0. Ces valeurs du FBI indiquent que les eaux des cours d'eau étudiés sont de bonne qualité. Les résultats obtenus dans ce travail s'éloignent de ceux rapportés Onana (2015) dans quelques cours d'eau de Douala et se rapprocherait de ceux obtenus par Foto Menbohan *et al.* (2010, 2012 et 2013) dans les cours d'eau situés en zone peu anthropisée et périurbaine à Yaoundé.

### **III.2.3.1 Indices EPT, EPTD, EPTC et EPTH**

Les fortes valeurs des indices EPT, EPTD, EPTC et EPTH obtenues dans les cours d'eau étudiés seraient en faveur d'une faible anthropisation des différents bassins versants et indiqueraient que les eaux sont de bonne qualité. Ce résultat traduirait de fait la sensibilité des taxons des Décapodes, des Coléoptères et des Hémiptères récoltés. Néanmoins, les valeurs de ces indices restent inférieures à celles obtenues par Tchakonté (2016) dans le cours d'eau Nsapè cours d'eau périurbains de la ville de Douala, et à celles obtenues par Nyamsi Tchatcho (2018) sur le réseau Hydrographique de la Mefou où le groupe EPT est représenté par 50 espèces, les Coléoptères par 26 espèces et les Hétéroptères par 16 espèces. Cette plus grande diversité des taxa polluosensibles serait liée d'une part, au grand nombre de sites de référence prospectés (14 stations) et, d'autre part, à l'hétérogénéité climatique (quatre saisons) de cette région écologique qui offre sans doute une plus grande variété et variabilité de conditions d'habitats.

### III.2.4. Biotypologie, écologie et bioindication de la macrofaune benthique

#### III.2.4.1. Biotypologie de la macrofaune benthique

La carte SOM a permis de regrouper les familles obtenues en 4 groupes. Le groupe IV est constitué des échantillons récoltés dans les cours d'eau Moon (Mo1, Mo2 et Mo3), Esoa (stations Es1 et Es2), Egnoki (Eg1 et Eg3) et Mbouroukou (Mb1). Ce groupe présente la plus forte richesse taxonomique (66) et composée de taxons polluosensibles et pollutolérants avec prédominance des taxons pollutolérants. Le groupe III est diversifié et constitué en majorité de taxons polluosensibles. En effet, l'analyse SOM a rassemblé dans ce groupe les échantillons du cours d'eau Mbouroukou (Mb1, Mb2 et Mb3) et le cours supérieur des cours d'eau Esoa et Egnoki (Es1 et Eg1) qui sont peu anthropisées et révèlent de ce fait la bonne intégrité écologique de ces cours d'eau à ces stations. Les groupes I et II sont constitués des taxons polluo-résistants et pollutolérants récoltés dans les cours d'eau Moon, Esoa et Egnoki dans leur cours moyen et inférieur. Ce résultat est en conformité avec les analyses physicochimiques qui montrent que ces stations (Mo1, Mo2, Mo3, Es2, Es3, Eg2 et Eg3) sont relativement anthropisées et que ces eaux sont peu propices à l'installation et au développement d'une grande variété de taxons de macroinvertébrés dû à la prédominance des taxons polluo-résistants. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Temgoua *et al.*, (2024) dans le cours d'eau Mekongo à Awae. Les analyses physicochimiques et la SOM révèlent la mauvaise intégrité écologique des eaux de ces cours d'eau. Malgré la forte amplitude de variation des abondances entre les taxa, la typologie par la SOM a permis une représentation visuelle des profils simplifiés de la macrofaune.

A partir des groupes définis par la SOM, l'analyse IndVal a permis de ressortir les principaux taxons caractéristiques des cours d'eau étudiés et d'établir une structuration de leur statut de bioindicateur en fonction des valeurs de l'IndVal (%). Sur les 131 taxa de macroinvertébrés benthiques pris en compte, 57 taxa ont été identifiés comme indicateurs significatifs de ces cours d'eau. Ainsi, 26 taxons sont indicateurs des quatre groupes dont 08 taxons pour le GI reconnu polluo-résistants, 11 taxons pour le GIII reconnu polluosensibles et 12 taxons pour le GIV reconnu pollutolérants. Notons que le GII n'a pas de taxon indicatif significatif. A ce propos, Cáceres & Legendre (2012) affirme qu'il peut arriver qu'un site particulier n'ait pas d'espèce indicatrice, même si ses sites ont une composition communautaire clairement distincte de celle des sites des autres groupes de sites et que cela motive l'exploration de la valeur indicatrice non seulement des espèces individuelles, mais aussi des combinaisons d'espèces. Le reste de taxons indicateurs significatifs est issu des combinaisons entre les groupes. D'après le test de Monte-carlo, les taxons qui sont considérés comme indicateurs sont

ceux dont la valeur IndVal est  $\geq 25\%$ . Les résultats de cette analyse vont en droite ligne avec le test de significativité de ce dernier. Selon Cáceres & Legendre (2012), la relation entre une espèce et un site ou groupe de sites n'est complète que si après le calcul des valeurs indicatrices, l'espèce est significative c'est-à-dire préfère les conditions environnementales qui prévalent dans le milieu. Sur le plan spatial, cette distribution permet de confirmer la dissimilarité entre ces groupes de bioindicateurs caractéristiques des conditions écologiques différentes. Selon McGeoch & Chown (1998), les espèces indicatrices pourraient être employées sous trois angles distincts : (1) pour refléter l'état biotique ou abiotique de l'environnement ; (2) pour indiquer l'effet des changements environnementaux et (3) pour indiquer la diversité des autres espèces, taxa, ou communautés dans un milieu. Ces observations sont également similaires à celles de Zinsou *et al.*, (2017), réalisées dans le delta de l'Ouémé, où l'illustration des taxons à partir des valeurs des indicateurs a permis de mettre en évidence la nature des taxons de chaque station. En définitive, les activités anthropiques et les attributs de l'habitat agissent comme des modélisateurs des types de taxons colonisant les écosystèmes aquatiques (Temgoua *et al.*, 2024). Selon Alcaraz-Hernández *et al.*, (2024), les attributs de l'habitat sont les principaux facteurs influençant les communautés des macroinvertébrés et leurs descripteurs.

#### **III.2.4.2. Ecologie de la macrofaune benthique**

Les différences dans la composition fonctionnelle des communautés de macroinvertébrés benthiques dans les différents cours d'eau étudiés ont été observées à partir de l'analyse des groupes fonctionnels trophiques. Ainsi, sur le plan taxonomique, les détritivores et les prédateurs ont dominé avec respectivement 41,66 % et 35,71 % de taxons sur les autres groupes. Ceci s'expliquerait par la présence de nombreuses proies pour les prédateurs ainsi qu'à l'abondance des déchets organiques qui garniraient le milieu. A ce propos, Reid *et al.*, (2013), avaient souligné que les détritivores et les collecteurs/filtreurs sont les premiers et principaux colonisateurs des milieux pollués. Ces résultats se rapprochent de ceux de Nwaha (2023) dans quelques cours d'eau du département de la Mvila où les détritivores dominaient le peuplement de macroinvertébrés benthiques. Les filtreurs occupent la troisième place avec 11,90% en terme de richesse taxonomique. Cette abondance pourrait se justifier par leur mode de nutrition. En effet, ces derniers se nourrissent des débris et des microinvertébrés qui recouvrent les substrats. Par contre les très faibles richesses taxonomiques des déchetiqueurs (7,14 %) et des omnivores (3,57 %) seraient due au fait que les apports allochtones de matières dans le lit des cours d'eau sont essentiellement constitués de feuilles mortes et branchages provenant de la ripisylve (Tchakonté 2016). Sur le plan de l'abondance, ce sont plutôt les

prédateurs qui prédominent avec 41,41 % d'abondance relative, ils sont diversifiés et abondants. Leur prééminence spécifique et numérique s'expliquerait par la grande diversité des Coléoptères et des Héteroptères qui sont des excellents prédateurs à l'affût, se nourrissant des vers et des larves d'autres insectes aquatiques (Tachet *et al.*, 2010). Ils sont suivis par les omnivores (28,39 %) qui sont moins diversifiés et abondants, les détritivores (16,53 %) qui bien que étant très diversifiés sont moins abondants. Les filtreurs (12,93 %) et les déchetteurs (0,72 %) sont les moins abondants (Figure 49). Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Mboye (2019) dans le bassin de la Mabounié au Gabon. Selon Gebrehiwot *et al.*, (2017) les groupes fonctionnels apportent des informations fondamentales sur les processus écosystémiques, la qualité de l'habitat et la dynamique trophique au sein des écosystèmes. Des recherches ont révélé que la structure trophique des macroinvertébrés benthiques évolue le long des cours d'eau en raison de facteurs naturels et de l'intervention humaine (McCormick *et al.*, 2004; Svitok *et al.*, 2014). Ces observations qui mettraient en évidence la structure trophique des communautés de macroinvertébrés benthiques est un marqueur significatif de l'état écologique des milieux aquatiques et de la qualité des milieux aquatiques au sein des écosystèmes.

#### **III.2.4.3. Bioindication de la macrofaune benthique**

L'Analyse Canonique de Correspondances (ACC) a montré que les basses températures de l'eau, la canopée, la bonne oxygénation et la faible minéralisation des eaux, un pH légèrement basique, les faibles conductivités électriques, les valeurs moyennes de l'IPO et un substrat sableux recouvert de feuilles mortes/débris ligneux constituent l'ensemble de conditions de milieu propices à l'installation d'une grande diversité de macroinvertébrés benthiques. L'inverse de l'ensemble de ces conditions observé à certaines stations a entraîné une prolifération des taxons polluo-tolérants et polluo-résistants et une faible présence des taxons polluo-sensibles, créant un déséquilibre du peuplement de macroinvertébrés benthiques dans ces stations. A ce propos, Colas *et al.*, (2014) soulignent que les organismes aquatiques intègrent divers types et degrés de perturbations environnementales qui se produisent sur une variété d'échelles spatio-temporelles ; leur structure permet alors d'obtenir un schéma beaucoup plus précis de l'intégrité de l'hydrosystème (Borics *et al.*, 2013).

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET  
PERSPECTIVES**

L'étude de la dynamique d'abondance et de la diversité des Macroinvertébrés Benthiques a été menée dans quatre cours d'eau en sol volcanique en zone périurbaine dans le département du Mounjo (Région du littoral, Cameroun).

Ces eaux présentent une bonne oxygénation, un pH neutre, des faibles valeurs des formes azotées exception faite des nitrates, une faible minéralisation, de faibles valeurs de conductivité électrique, les valeurs moyennes de température, des valeurs élevées des orthophosphates, une pollution organique moyenne modérée et des teneurs relativement faibles des autres paramètres physicochimiques (alcalinité, turbidité, MES). Ces différents bassins sont ainsi relativement peu anthropisés et sont de qualité écologique moyenne.

La macrofaune benthique récoltée dans les quatre cours d'eau montre un peuplement riche et diversifié avec 19219 individus appartenant à 4 embranchements, 7 classes, 16 ordres, 84 familles et plus de 100 genres. L'embranchement des Arthropodes prédomine avec 17746 individus soit 92,33% d'abondance relative, la classe des Insectes, avec 12343 individus soit 64,22%, prédominée par l'espèce *Coenagrion* sp. et enfin l'ordre des Décapodes avec 5402 individus, soit 28,10% d'abondance relative avec une prédominance des espèces *Caridina africana* et *Caridina typus*.

Le cours d'eau Esoa est le biotope le plus diversifié avec un total de 3732 individus répartis en 4 embranchements, 7 classes, 14 ordres et 69 familles.

La typologie par la SOM a permis une représentation visuelle des profils simplifiés de la macrofaune et a réparti les macroinvertébrés benthiques en quatre groupes.

Sur le plan trophique en terme de richesse taxonomique, les détritivores sont les plus diversifiés, suivis des prédateurs, des filtreurs, déchetteurs et des omnivores. En terme d'abondance, le peuplement de macroinvertébrés benthiques est dominé par les prédateurs, suivi omnivores, détritivores, filtreurs et enfin déchetteurs.

L'Analyse Canonique de Correspondances (ACC) a montré que les basses températures de l'eau, la canopée, la bonne oxygénation et la faible minéralisation des eaux, un pH légèrement basique, les faibles conductivités électriques, les valeurs moyennes de l'IPO et un substrat sableux recouvert de feuilles mortes/débris ligneux constituent l'ensemble de conditions de milieu propices à l'installation d'une grande diversité de macroinvertébrés benthiques.

L'assortiment des résultats montre que le cours d'eau Mbouroukou maintient une bonne intégrité écologique et dispose d'une diversité de microhabitats. Par contre, les cours d'eau Moon, Esoa et Egnoki présentent dans leur partie aval un début de dégradation du milieu se traduisant par une faible diversité d'organismes benthiques indicateurs du maintien de la qualité

écologique du milieu. Les EPT qui se développent généralement dans les cours d'eau forestiers, reconnus comme polluosensibles ont été retrouvés dans chacun des quatre cours d'eau dans lesquels ils se développent harmonieusement avec d'autres groupes.

Au regard de l'avancée rapide du phénomène d'urbanisation, de la croissance démographique des zones périurbaines concernées par cette étude, de l'utilisation anarchique des sols, de l'utilisation des milieux aquatiques comme dépôts de déchets ménagers de toutes sortes, et de la mécanisation de l'agriculture, tout ceci combiné aux variations climatiques deviennent aujourd'hui de plus en plus imprévisibles. Face à cela, les bassins versants des zones étudiées 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, il est recommandé :

44. Aux hydrobiologistes,

- d'étendre les travaux aux autres groupes biologiques, dans l'optique d'enrichir la documentation sur la biodiversité de ces milieux ;
- d'évaluer et de suivre l'évolution de l'état de santé des hydrosystèmes de la ligne volcanique au Cameroun ;
- d'établir un diagnostic global des cours d'eau du pays pour construire un indice multimérique beaucoup plus robuste.

45. Aux pouvoirs publics

- de tenir compte les résultats de ces travaux pour améliorer les politiques de gestion des ressources hydriques, tout en mettant un accent particulier sur la préservation et la conservation de la biodiversité
- de mettre sur pied des politiques en matière d'urbanisation selon une approche participative et soucieuse de la protection des hydrosystèmes et de l'intégrité et stabilité des milieux aquatiques naturels ;
- de mettre sur pied de nouvelles stratégies de traitement des déchets, de restauration des hydrosystèmes afin d'assurer une gestion et une protection efficace.

46. Aux populations,

- d'adopter un comportement éco-citoyen en utilisant des moyens appropriés pour l'évacuation des ordures et des eaux usées domestiques et en évitant d'occuper ou de dégrader les zones humides ;
- de préserver les bassins versants (utilisation des engrais et pesticides chimiques au profit des engrais biologiques) ;
- d'éviter de nager dans ces eaux car certains points regorgent les Belostomidae pouvant être impliquées dans la maladie Ulcère de Burili ;
- de respecter les règles d'hygiène et de salubrité des cours d'eau.

Pour les travaux futurs, il est envisagé une culture et une analyse moléculaire des macroinvertébrés benthiques pour une meilleure connaissance de leur structure de leur peuplement et de leur cycle de vie. Il serait également indiqué de faire une étude sur l'écologie des Dugesiidae afin d'établir leur incidence sur la qualité de l'eau.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Ajeegah G.A., Keukeunou S., Njiawouo, Pountigni et Foto S.M. (2014).** Morphologie et abondance des stades de développement d'*Hyocoris cimicooides* Linné 1758 (Heteroptera: Naucoridae) dans un lac anthropisé en zone tropical (Cameroun). *Journal of applied Biosciences*, 72: 5826-6936.
- Ajeegah G.A., Yogback G.S., Siméon Tchakounté., Bricheux G., Paul A., Télésphoe Sime-Ngando T et Djiéto-Lordon C. (2018).** Bio-morphologie des crustacés d'un cours d'eau peu anthropisé en forêt équatoriale au Cameroun. *Revue des Sciences de l'Eau*. 31 (1), 29-40.
- Alcaraz-Hernández, J.D; Sánchez-Hernández, J.; Muñoz-Maz, R.; Martinez-Capel, F. (2024).** Drivers of Macroinvertebrate Communities in Mediterranean Rivers. A Mesohabitat Approach. *Sustainability*, 16, 3075.
- Allan J. D., 2004.** Landcape and rivers cape: the influence of land use on stream ecosystems. *Annals Review of Ecological System*, 35: 257-294p.
- Alvial I.E., Orth K., Duran B.C., Alvarez E. et Squeo F.A. (2013).** Importance of geochemical factors in determining the distribution patterns of aquatic invertebrates in mountain streams south of the Atacama Desert, Chile. *Hydrobiologia*, 709: 11-25.
- Amis M.A., Rouget M., Balmford A., Thuiller W., Kleynhans C., J., Day J. et Nel J. (2007).** Predicting freshwater habitat integrity using land-use surrogates. *Water SA*. 33: 215-222.
- Amoros C. et Petts G. E. (1993).** Hydrosystèmes fluviaux. Collection d'écologie no 24, Masson, Paris, 300 p.
- Angelier E., 2003.** Ecology of streams and rivers. *Science Publisher, Inc. Enfield* 211-213 p.
- Apha. (1998).** Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 20<sup>th</sup> edition, Washington, DC, 1150 p.
- Arimoro O.F., Ikomi B.R. et Iwegbue A.M. (2007).** Water quality changes in relation to Diptera community patterns and diversity measured at an organic effluent impacted stream in the Niger Delta, Nigeria. *Ecological Indicators*, 7: 541-552.
- Armengol J., Sabater S., Vidal A. et Sabater F. (1991).** Using the rescaled range analysis for the study of hydrological records: the River Ter as an example. *Oecologia Aquatica*. 10: 21-33.
- Armitage P & Wood P. (1997).** Biological Effects of Fine Sediment in the Lotic Environment. *Environmental Management*, 203-207.
- Azrina, Z.M., Yap, K.C., Rahim Ismail, A. et Tan, G. S., 2005.** Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 16, 184-210.
- Bachelier G (1952).** Prospection pédologique de la Plaine des Mbo. Rapport I.R.CAM., P 22
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD et Stribling JB. (1999).** Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. *2nd edition, U. S. Environmental Protection Agency, office of water, Washington, D. C., EPA 841 – B – 99-002.* 11 chapter and 4 appendices, 664 p.
- Basu N., Scheuhammera A.M., Bursiand S.J., Elliotte J., Rouvinen-Wattf K. et Man Chan H. (2007).** Mink as a sentinel species in environmental health. *Environmental Research*, 103: 130-144.

- Beaumont A. & Cassier P. (1981).** Biologie Animale: des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens. 3<sup>ème</sup> édition, Tome I, 459 p.
- Beaumont A. et Cassier P. (2000).** *Biologie Animal: des Protozoaires et Métazoaires épithélioneuriens.* Tome 2 Dunod Université, Paris, 510 p.
- Bernot R.J. et Brandenburg M. (2013).** Freshwater snail vital rates affected by non-lethal concentrations of silver nanoparticles. *Hydrobiologia*, 714: 25-34.
- Berryman D. (1990).** Sélection des nouveaux indicateurs de la qualité des cours d'eau du Québec. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité de l'eau des cours d'eau, 77 p.
- Bhat S.A, Meraj G, Yaseen S, Bhat A.R et Pandit A.K. (2013).** Assessing the impact of anthropogenic activities on spatio-temporal variation of water quality in Anchar Lake, Kashmir Himalayas. *International Journal of Environmental Sciences* 3 1625-1640.
- Biram à 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.
- Blandin P. (1986).** "Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques". *Bulletin d'Ecologie*, 17 (4): 215-307.
- Bode R.W., Novak M.A., Abele L.E., Heitzman D.L. & Smith A.J. (2002).** Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York). Stream Biomonitoring Unit, *Bureau of Water Assessment and Management, Division of Water, NYS Department of Environmental Conservation*, 41 p. and 13 appendices.
- Bode RW, Novak MA & Abele LE. (1996).** Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York). NYS Department of Environmental Conservation, 89 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.
- Borics G., Varbiro G. & Padisak J. (2013).** Disturbance and stress: different meanings in ecological dynamics? *Hydrobiologia*, 711: 1-7.
- Boudem Tsané C. R, Moanono P. G. T, Nonga Tang B, [...], Zébazé Togouet S. H. (2021).** influence du barrage hydroélectrique de Mekin sur la distribution des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Dja : région du Sud Cameroun. *World Journal of Advance Research and Reviews* 12 (2): 063-077.
- Braud S & Alber A. (2012).** Impacts des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau. DREAL Centre, 59 p.
- Britain J. E. & Saltveit S. J. (1989).** A review of the effect of river regulation on mayflies (Ephemeroptera). *Regulated Rivers. Research and management*, 3: 191-204.
- Cáceres & Legendre 2012:** Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution* page 973-982.
- Camacho AI. (1992).** The natural history of biospeleology. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Monografias, Vol. 7, 680 p.

- Camara I.A. (2013).** Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco ; Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, 151 p.
- 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.
- Chorus I. & Batram J. (1999).** Toxic cyanobacterial in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. *E & FN Spon.*, London. 415 p.
- Chouinard H. (2010).** *L'intégrité biologique des cours d'eau: analyse de méthodes de suivi et proposition d'une méthode adaptée au parc national d'Ifrane.* Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 126 p.
- Christensen T.H., Kjeldsen P. et Bjerg P. L. (2001).** Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*. 16: 659-718.
- Colas F, Vigneron A, Felten V et Devin S. (2014).** The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment: Using macroinvertebrate species under multiple stressors. *Environmental Pollution*, 185: 24-34.
- Colas F., Vigneron A., Felten V. et Devin S. (2014).** The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment: Using macroinvertebrate species under multiple stressors. *Environmental Pollution*, 185: 24-34.
- Combeau A (1954).** Observations sur les sols volcaniques dans la région de Nkongsamba. Rapport I.R.CAM., P 41, 21 p
- Combeau A (1955).** Reconnaissances pédologiques dans la région de Nkongsamba. Rapport I.R.CAM., P 60, 4 p, 2 croquis au 1/50000, 1 croquis au 1/200000, tableaux d'analyses, multi g.
- Culp J.M, Wrona FJ et Davies RW. (1986).** Response of stream benthos and drift to fine sediment deposition versus transport. *Canadian Journal of Zoology* 64, 1345-1351.
- Cummins K.W. et Wilzbach M.A. (1985).** Field Procedures for Analysis of Functional Feeding Groups of Stream Macroinvertebrates. Contribution 1611, *Apalachian Environmental Laboratory*, Université de Maryland, Frostburg, 18 p.
- Dajoz R. (2000).** Précis d'Ecologie. 7ème édition, Dunod, Paris, France, 615 p.
- Day J.A., Stewart B.A., De Moor I.J. et Louw A.E. (2001).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Volume 4: Crustacea III. *Water Research Commission Report*, No. TT 141/101, Pretoria-South Africa, 151 p.
- De Moor I.J. et Day J.A. (2002).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Volume 6: Arachnida & Mollusca. Chapter 3: Mollusca. *Water Research Commission Report*, No. TT 182/02, Pretoria-South Africa, pp 42-125.
- De Moor I.J., Day J.A. et De Moor F.C. (2003b).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Volume 8: Insecta II. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera & Lepidoptera. *Water Research Commission Report*, No. TT 214/03, Pretoria-South Africa, 219p.
- De Moor I.J., Day J.A., et De Moor F.C. (2003a).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Volume 7: Insecta I. Ephemeroptera, Odonata & Plecoptera. *Water Research Commission Report*, No. TT 207/03, Pretoria-South Africa, 301 p.

- Dejoux C. (1988).** La pollution des eaux continentales africaines. Expérience acquise situation actuelle et perspectives, ORSTOM, Paris, 513 p.
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. et Belghity D. (2010).** Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss Journal*, 8: 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.
- Diomandé D. (2001).** Macrofaune benthique et stratégies alimentaires de *Synodontis Bastiani* Daget, 1948 et *S. Schall* (Bloch & Schneider, 1801) en milieu fluvio-lacustre (Bassins Bia et Agnéby ; Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire*, 260p.
- Diomandé D., Lassina D. & Gourène G. (2009).** Stratégie alimentaire de deux espèces de Poissons-Chats dans l'hydrosystème Fluvio-Lacustre de la Bia: *Synodontis bastiani* (Daget, 1948) et *S. schall* (Bloch & Schneider, 1801). *European journal of Scientific Research*, 27(1): 66-76.
- Dodds W.K. & Whiles M.R. (2010).** Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. 2<sup>nd</sup> edition, *Elsevier Academic Press, California, USA*, 812p.
- 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.
- Dufrêne M. & Legendre P (1997).** Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monograph*, 67: 345-366;
- Durand J.R. & Lévêque C. (1981).** Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne. Tome II. Edition de l'ORSTOM, Paris, 517 p.
- Dzavi Jean. (2024).** Etat écologique de quelques cours d'eau du bassin du Nyong au Cameroun : diversité des macroinvertébrés benthiques et des hyphomycètes aquatiques, de la décomposition de la litière et des analyses physico-chimiques. *Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I*, 220 p.
- Edia O.E. (2008).** Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-Est, Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire*, 152 p.
- Enah Dickson Achuo, Ajeegah Gigeon Aghaindum et Foto Menbohan Samuel (2018).** Distribution des Chironomidae: bioindicateurs de la pollution organique dans un bassin versant à Bamenda, région du Nord- Ouest. Cameroun. *The International Journal of Science & Technology*.
- Falconer I. R. (2001).** Toxic cyanobacterial bloom problems in Australian waters: risks and impacts on human health. *Phycologia*, 40: 228-233.
- Fawzi B., Chlaida M., Oubraim, Loudiki M., Sabour B. & Bouzidi A. (2001).** Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain. Oued Hasser. *Revue des Sciences de l'Eau*. 14: 73-89.

- 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? Atropical case study. *Hydrobiologia*, 724: 175-185 p.
- Foto Menbohan S, Koji E, Ajeegah G, Bilong Bilong C.F et Njiné T. (2012).** Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon. *International Journal of Biosciences* 2(11), 137-145.
- Foto Menbohan S, Mboye BR, Mbega JD et Ajeegah Gideon A. (2017).** Santé Écologique de Quelques Cours d'eau du Bassin Hydrographique de la Mabounié au Gabon: Essai de Typologie par les Variables Physicochimiques et Hydromorphologiques. *European Journal of Scientific Research* 148(1): 93-105.
- Foto Menbohan S, Tchakonté S, AJeegah G, Zébazé Togouet SH, Bilong Bilong CF & Njiné T. (2013).** Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *International Journal of Biotechnology* 2(5) : 91-104.
- Foto Menbohan S. et T. Njiné (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 Menbohan S., Njine T., Zebaze Togouet S. H., Kemka N., Nola M., Monkiedje A. & Boutin C. (2006).** Distribution spatiale du zooplancton dans un réseau hydrographique perturbé en milieu urbain tropical (Cameroun). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle* 142: 53-62.
- Franquet E. (1996).** Occupation d'un espace fluvial par les Diptères chironomidés à l'aval du Rhône: répartition des espèces selon la nature du substrat et les conditions de débit. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, France, 147 p.
- Friedrich G, Chapman D & Beim A. (1992).** 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, 171-238 p.
- Gaujous D. (1995).** La population des milieux aquatiques: aide-mémoire. Paris, Lavoisier Tec & Doc, 220 p.
- Gayraud S & Philippe M. (2003).** Influence of Bed-Sediment Features on the Interstitial Habitat Available for Macroinvertebrates in 15 French Streams. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 88(1): 77-93.
- Gebrehiwot, M., Awoke, A., Beyene, A., Kifle, D., & Triest, L. (2017).** Macroinvertebrate community structure and feeding interactions along a pollution gradient in Gilgel Gibe watershed, Ethiopia: Implications for biomonitoring. *Limnologica*, 62, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.11.003>.
- Genin B., Chauvin C. & Menard F. (1997).** Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-Méthodes- IBGN. Dijon, ENESAD – CNERTA, 202 p.
- Geze B (1943).** Géographie physique et Géologie du Cameroun occidental. Mem. Mus. Hist. Nat., nouv.série, XVII, pp 1-272.
- Ghislain de Marsily. (2006).** Les eaux continentales. Rapport sur la science et la technologie, No 25. EDP Science. 356 p.
- Giller P.S & Malmqvist B. (1999).** The biology of rivers and streams. Oxford University Press, Oxford, 296 p.
- Gillot .C (2005).** *Entomology*. Third edition. Springer, Dordrecht, Netherlands, 836 p.

- Harrison T, Norris R & Wilkinson S. (2007).** The impact of fine sediment accumulation on benthic macroinvertebrates: implications for river management. *5th Australian Stream Management Conference*, 139-144.
- 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'odonatologie, 416 p.
- Hellawell J.M. (1986).** Biological indication of freshwater pollution and environmental management. *Elsevier*, 546 p.
- Hilsenhoff W.L. (1988).** "Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index". *Journal of North America Benthological Society* 7: 65-68.
- Holmlund C. M. et Hammer M. (1999).** Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*, 29: 253-268.
- INRA. (2005).** L'émergence d'une ingénierie écologique des milieux aquatiques. Institut National de la Recherche Agronomique: Direction de l'information et de la communication - 147, rue de l'université - 75338. Paris Cedex 07, 144 p.
- Intès A & Le Loeuff P. (1986).** Les Annélides polychètes de Côte d'Ivoire. IV- Relation faune sédiments. *Océanographie Tropicale* 21, 53-88.
- Jain S. (2012).** Assessment of water quality at the three Stations of Chambal River. *International Journal of Environmental Sciences* 3: 881-884.
- Jones JI, Murphy JF, Collins AL, Sear DA, Naden PS et Armitage P.D. (2011).** The impact of fine sediment on Macro invertebrates, page 1054-1071.
- Jullian E, Hirbe A, Ker BN & Liu RZ. (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.
- Karr J. R. & Chu E. W. (1999):** Restoring life in running waters: Better biological monitoring. Island Press, Washington, DC, 206 p.
- Kourradi R. (2007).** Evaluation du degré de la pollution anthropique de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie et la dynamique de *Scrobicularia plana* (Linné, 1758) et *Solen marginatus* (Linné, 1767). *Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal*, 313 p
- Lecerf A. (2005).** Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin: Etude du processus de décomposition des litières. *Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III*, 159 p.
- Lecointre G. et Guyader H.L. (2001).** Classification phylogénétique du vivant. Belin Ed., Paris (France), 543 p.
- Legendre P et Legendre L. (2012).** Numerical ecology, 3rd English edition. *Elsevier'Science BV'* Amsterdam, 853 p.
- Lemerle L., & Stéphanie M. (2018).** Preserver et restaurer les milieux aquatiques. Congrès lambda Mu 21" Maîtrise des risques et transformation numérique: Opportunités et menaces". 30-40 p.

- Lévêque C et Balian E.V. (2005).** Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream. *Hydrobiologia*, 542: 25-26.
- Levêque C. et Mounolou J-C. (2008).** Biodiversité: Dynamique biologique et conservation. Dunod, Paris, 260 p.
- Lioris D. et Rhababo J. (1984).** Guide d'identification des ressources marines vivantes au Maroc 140: 193-201.
- Logan O. (2004).** Effects of fine sediment deposition on benthic invertebrate communities. Thesis, 155 p
- Macneil C. N., Dick J. T., Bigsby A., Elwood R., Montgomery 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.
- Malavoi J.R, Garnier CC, Landon N, Recking A & Baran P. (2011).** Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Onema, 216 p.
- Malavoi JR & Souchon. (2002).** Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière: clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 365(366), 357-372.
- Mann O.(1912) .** Etude géologique de la circonscription de Dschang. Mitteilungs n Von Farschungreisenden fasc 3, Berlin.
- Martin P. & Aït Boughrous A. (2012).** Guide taxonomique des oligochètes dulçaquicoles du Maghreb. Ed. NUR 910, Bruxelles, Belgique, *Volume 12*, 194 p.
- Mary N. (1999).** Caractérisations physicochimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. *Thèse de Doctorat, Université Française du Pacifique, France*, 200 p.
- Mathuriau C. (2002).** Les macroinvertébrés des cours d'eau Andins du Sud-est de la Colombie: écologie et bioindication. *Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France*, 309p.
- 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)*, 514p.
- Mboye B. R., (2019) :** Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon) : Essai de biotypologie. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Université de Yaoundé 1. 214 p.
- Mcclelland W.T et Brusven M.A. (1980).** Effects of sedimentation on the behavior and distribution of riffle insects in a laboratory stream. *Aquatic Insects* 2: 161-169.
- Mccormick, P. V., Shuford, R. B. E., & Rawlik, P. S. (2004).** Changes in macroinvertebrate community structure and function along a. *Hydrobiologia*, 529(1-3), 113-132. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-5737-7>
- McGeoch & Chown (1998).** Scalping up the value of bioindicators. *Trends in Ecology & Evolution* 13 (2): 46-47.
- 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, 88p.
- MEDD & AE, (2013).** Limite de classe de 'bon état' des eaux. Grille QEQ-Eau 5-10 p.

- Melle Epounde A D., Foto Menbohan S., Nwaha Mathias.et Mbohou Zachari (2023).** Qualité de l'eau d'un cours d'eau de bas fond et d'un cours d'eau urbain par l'analyse de la structure de la population de macroinvertébrés benthiques. *METHODS 6 (1)*.
- Merritt R.W., Cummins K.W. & Berg M.B. (2008).** An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 4<sup>th</sup> edition, Kendall Hunt Publishing, Dubuque, Iowa, U.S.A., 1159 p.
- Metcalf C. L. et Flint W. P. (1939).** Destructive and useful insects. Their habits and control. Me Graw-Hill, Public. Agricult. Se. 2<sup>nd</sup> edit., New York and London, 981 p.
- Meyer J.L., Paul M.J. & Taulbee W.K. (2005).** Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of North America Benthological Society*, 24: 602-612.
- Milošević D., Stojković M., Čerba D., Petrović A., Paunović M. & Simić V. (2014).** Different aggregation approaches in the chironomid community and the threshold of acceptable information loss. *Hydrobiologia*, 727: 35-50.
- Minshall G.W., Petersen R. C., Cummins K.W., Bott T.L., Sedell J.R., Cushing C.C. & Vannote R. L. (1983).** Interbiome comparison of stream ecosten dynamics. *Ecological Monographs*, 53: 1-25.
- Moanono Patrick, Boudem Tsané C. R, Tuenkam Kayo R et Zébazé Togouet S. H (2021).** Biodiversité de la faune malacologique de quelques mangroves dans le Littoral camerounais : influence des facteurs abiotiques. *Academia*.
- Moisan J. (2010).** Guide d'identification des principaux Macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 - *surveillance volontaire des cours peu profonds*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, 82 p.
- Moisan J., & 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.
- 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.
- Monique E. (1987).** Evaluation biologique de la qualité des cours d'eau ; méthode simplifiée. Centre technique et pédagogique de l'enseignement de la communauté française. Route de Bavay, 70 B- 7080 FRAMERIES, pp 7-63.
- Monoury E. (2013).** Fonctionnement écologique des zones de dépôt dans les ruisseaux : contribution des invertébrés benthiques aux processus de décomposition des litières et de bioturbation. *Thèse de Doctorat, Université Paul-Sabatier, Toulouse III*, 283 p.
- Morrissey C.A., Boldt A., Mapstone A., Newton J. et Ormerod S.J. (2013).** Stable isotopes as indicators of wastewater effects on the macroinvertebrates of urban rivers. *Hydrobiologia*, 700: 231-244.
- Mouthon J. (1980).** Contribution à l'Ecologie des Mollusques des eaux courantes – esquisse biotypologique et données écologiques. *Thèse 3<sup>e</sup> Cycle. Université Paris VI*, 169 p.
- Nahmani j. & Rossi J.P. (2003).** Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *Comptes Rendus de Biologie*, 326: 295-303.

- Ngambi J. (2015).** Déchets solides ménagers de la ville de Yaoundé (Cameroun) : de la gestion linéaire vers une économie circulaire. *Journal of Sciences*, 23 p.
- Nisbet M. & Verneaux J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, fasc, 2 : 161-190.
- Nyame Mbia D L'OR., Foto Menbohan S., Gwos Nhiomock S R .et Biram À Ngon E B, (2023):** influence de la granulometrie sur la distribution des macroinvertébrés benthiques dans quelques cours d'eau des bassins versants de la Mvilla et haut Nyong au Cameroun. *World Journal of Advance Research and Reviews* 17 (2): 658-677.
- Olivier D, Gessner OM, François G et Eric C. (2004).** Impacts of stream acidification on litter breakdown: implications for assessing ecosystem functioning. *Journal of Applied Ecology*, 41, 365-378.
- 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*, 125-156p.
- Othoniel C. (2006).** La croissance du biofilm photosynthétique: Un indicateur du statut trophique des rivières. *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France*, 303 p.
- Pringle C. M., Naiman R.J., Bretschko G., Karr J. R., Oswood M.W., Webster J.R., Welcomme R. L. et Winterbourn M.J. (1988).** Patch dynamics in lotic systems: The stream as a mosaic. *Journal of the North American Benthological Society*. 7(4): 503-524.
- Qiu Z. (2013).** Comparative Assessment of Stormwater and Nonpoint Source Pollution Best Management Practices in Suburban Watershed Management. *Water*, 5: 280-291.
- Ramade F. (1993).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ediscience International, Paris, 822 p.
- Ramade F. (2002).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2ème édition. Dunod, Paris, 1152 p.
- Ramade F. (2005).** Eléments d'écologie: Ecologie appliquée. 4<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris, France, 864 p.
- Ramade F. (2007).** Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Edition TEC & Doc, Paris, 618 p.
- Reid D.J., Lake P.S. et Quinn G.P. (2013).** Influences of agricultural land use and seasonal changes in abiotic conditions on invertebrate colonization of riparian leaf detritus in intermittent streams. *Aquatic Sciences*, 75: 285-297.
- Rios S.L. et Bailey R.C. (2006).** Relationships between riparian vegetation and stream benthic communities at three spatial scales. *Hydrobiologia*, 553: 153-160.
- Rodier J, Legube B, Marlet N & Brunet R. (2009).** L'analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris, France, 1579 p.
- Rodriguez S. (2011).** Géodynamique et sédimentologie des systèmes fluviaux. Cours Magistral, Université François Rabelais, 12 p.
- Romani A.M et Sabater S. (1999).** Epilithic ectoenzyme activity in a nutrient-rich Mediterranean river. *Aquatic Science*, 61: 122-132.

- Sabater S. & Sabater F. (1992).** Longitudinal changes of benthic algal biomass in a Mediterranean river during two high production periods. *Archive fur Hydrobiologie*, 124: 475-487.
- Sarriquet P.E, Bordenave P & Marmonier P. (2007).** Effects of bottom sediment restoration on intertidal habit characteristic and benthic macroinvertebrates assemblages in a headwater stream: *River Research and Application Y*, 23: 815-828.
- Segalen P. (1958).** Les sols du Cameroun. In: Atlas du Cameroun. I.R.Cam., Nkongsamba, 28p.
- Song M.Y., Leprieur F., Thomas A., Lek-Ang S., Chon T.S. & Lek S. (2009).** Impact of agricultural land use on aquatic insect assemblages in the Garonne river catchment (SW France). *Aquatic Ecology*, 43:999-1009.
- 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. Prétoriasouth Africa, 26-57 p.
- 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.
- Svitok, M., Novikmec, M., Bitušik, P., Máša, B., Oboňa, J., Očadlík, M., & Michalková, E. (2014).** Benthic communities of low-order streams affected by acid mine drainages : A case study from Central Europe. *Water*, 6(5), 1312-1338.
- Suren M et Jowett. (2010):** Effects of deposited sediment on invertebrate drift: An experimental study. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 725-737.
- Tachet H, Richoux P, Bournaud M et Usseglio-Polatera P. (2010):** Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. Editions CNRS, 607 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P., (2010).** Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, France, 588p.
- Tchakonté S, Ajeegah G, Dramane D, Camara AI, Konan KM & Ngassam P. (2014).** Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 2(4): 183-194.
- 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.
- Tchakonte S., Ajeegah 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*, 12-16 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*, 86-90p.

- Thomas F, Folgarait P, Lavelle P et Rossi JP. (2004).** Soil macrofaunal communities along an along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. *Applied Soil Ecology*, 27: 23 – 29.
- Tonkin JD, Death RG et Collier KJ. (2013).** Do productivity and disturbance interact to modulate macroinvertebrate diversity in streams. *Hydrobiologia* 701, 159-172.
- Tuffery G. (1980).** Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes ; Révélateurs biologiques de la pollution. In: P. Pesson (édition). La pollution des eaux continentales ; Incidence sur les biocénoses aquatiques, Paris, Bordas, P 243-280.
- United States Environment Protection Agency (U.S.EPA). (2002).** Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs. *United States Environmental Protection Agency*, EPA822-F-02-006.
- Vaneck T.W. (1997):** Fuzzy Guidance Control for An Autonomous Boat IEEE. *Journal of Control Systems* 17(2), 43-51.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. et Cushing C.E. (1980).** The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.
- Voelz N. J. & McArthur J. V. (2000).** An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation*, 9: 1543-1570.
- 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.
- Wang S.-Y., Bernhardt E.S. et Wrigh J.P. (2014).** Urban stream denitrifier communities are linked to lower functional resistance to multiple stressors associated with urbanization. *Hydrobiologia*, 726: 13-23.
- Ward J.V. et Stanford J. A. (1983).** The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: Dynamic of lotic ecosystems (Fontaine T.D., Bartell S.H., Eds.) *Science Publisher*. Michigan, P 29-42.
- WASSON J.G. (1989).** Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes: 1. Revue critique de quelques approches existantes. *Bulletin d'Ecologie*, 20(2): 109-127.
- Wasson JG, Chandresris, A, Pella H. & Blanc L. (2002).** Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.
- 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.
- Wentworth CK. (1922).** A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 377-392.
- Williams C.J., Scott A.B., Wilson H.F. et Xenopoulos M.A. (2012).** Effects of land use on water column bacterial activity and enzyme stoichiometry in stream ecosystems. *Aquatic Sciences*, 74: 483-494.

- Wood P-J, Toone J, Greenwood MT et Armitage PD. (2005).** The response of four lotic macroinvertebrate taxa to burial by sediments. *Archiv für Hydrobiologie*, 145-162.
- 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.
- Xue H., Sigg L. et Gachter R. (2000).** Transport of Cu, Zn and Cd in a small agriculture. *Water Research*, 34 (9): 2558-2568.
- Zahradnik J. et Chvala M. (1991).** La grande Encyclopédie des Insectes. Collection Grund, Paris, France, 511 p.
- Zebaze Togouet S. H. (2008).** Eutrophisation et structure de la communauté zooplanctonique du lac municipal de Yaoundé. Doctorat Ph.D, Faculté des Science, Université de Yaoundé I, Cameroun, 200 p. + Annexes.
- Zinsou, L.H ; Agadjihouédé, H ; Gnohossou, P. ; Lalèyè, P. (2017).** Analyse et illustration de la valeur indicatrice des espèces ma-crobenthiques du Delta de l’Ouémé au Bénin. *Eur. Sci. J*, 13, 333-351.

# **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1: Valeurs indicatrices de la première partition**

<b>Groupe I</b>			
<b>Taxons</b>	<b>Indval</b>	<b>P value</b>	<b>Signification</b>
<i>Haementeria costata</i>	0,517	0,001	***
<i>Radix</i> sp.	0,372	0,005	**
<i>Stagnicola</i> sp.	0,350	0,004	**
<i>Planorbis</i> sp.	0,325	0,010	**
<i>Bulinus senegalensis</i>	0,274	0,044	*
<i>Chalcoleste</i> sp.	0,274	0,049	*
<i>Cryptothrix</i>	0,274	0,041	*
<i>Melania tuberculata</i>	0,265	0,043	*
<i>Limnogonus</i> sp.	0,245	0,096	.
<i>Oxygastra curtisii</i>	0,224	0,157	
<i>Leste</i> sp.	0,158	0,705	
<b>Groupe II</b>			
<i>Acanthiop</i> sp.	0,256	0,053	.
<i>Chaobarius</i> sp	0,236	0,125	
<i>Orthetrum cafrum</i>	0,221	0,123	
<i>Lumbriculus</i> sp.	0,199	0,300	
<i>Sympetrum fonscolombi</i>	0,167	0,457	
<b>Groupe III</b>			
<i>Caridina africana</i>	0,896	0,001	***
<i>Adenophlebia sylvatica</i>	0,808	0,001	***
<i>Caridina typus</i>	0,683	0,001	***
<i>Dinocras</i> sp.	0,659	0,001	***
<i>Marthamea</i> sp.	0,648	0,001	***
<i>Gerrisella settembrinoi</i>	0,504	0,001	***
<i>Macromia splendens</i>	0,447	0,001	***
<i>Eoperla</i> sp.	0,394	0,001	***
<i>Naboandelus</i> sp.	0,346	0,010	**
<i>Laccobius</i> sp	0,315	0,026	*
<i>Ephemerythus</i> sp.	0,298	0,009	**
<i>Noterus</i> sp.	0,258	0,067	.
<i>Miconecta</i> sp.	0,258	0,076	.
<i>Empididae</i> nd	0,211	0,247	
<i>Afronurus</i> sp.	0,149	1,000	
<i>Oligoneuriella rhenana</i>	0,149	1,000	
<b>Groupe IV</b>			
<i>Naucoridae</i> nd	0,705	0,001	***
<i>Microvelia</i> sp.	0,471	0,001	***
<i>Sericostoma</i> sp.	0,471	0,001	***
<i>Glossosoma</i> sp.	0,469	0,001	***
<i>Gerris</i> sp.	0,456	0,001	***
<i>Siphonurus</i> sp.	0,420	0,002	**

<i>Dineutus</i> sp.	0,350	0,015	*
<i>Brachythemis lacustris</i>	0,334	0,010	**
Cordulegasteridae nd	0,293	0,018	*
<i>Philopotamus</i> sp.	0,293	0,009	**
<i>Psephenidae</i>	0,293	0,010	**
<i>Limnogonus</i> sp.	0,285	0,136	.
<i>Oligostomis reticulata</i>	0,263	0,060	.
<i>Rhitrogena</i> sp.	0,261	0,032	*
<i>Sympecma</i> sp.	0,231	0,241	
<i>Ceratopogonidae</i> nd	0,214	0,644	
<i>Electrogena</i> sp.	0,203	0,181	
<i>Hydrometra</i> sp.	0,190	0,413	
<i>Neureclipsis</i> sp.	0,169	0,230	
<i>Notidobia ciliaris</i>	0,169	0,233	
<i>Karogenia fuscogrisea</i>	0,169	0,235	
<b>Groupe I+II</b>			
<i>Chironomus</i> sp.	0,819	0,001	***
<i>Physa</i> sp.	0,661	0,001	***
<i>Branchiura sowerbyi</i>	0,459	0,002	**
<i>Potadoma</i> sp.	0,414	0,002	**
<i>Tubificidae</i> nd	0,295	0,080	.
<i>Lumbriculidae</i> nd	0,256	0,115	
<i>Nepa</i> sp.	0,229	0,192	
<i>Culicidae</i> nd	0,199	0,356	
<i>Groupe I+III</i>			
<i>Simulidae</i> nd	0,659	0,01	**
<i>Gyraulus</i> sp.	0,153	1,00	
<i>Groupe I+IV</i>			
<i>Brachythemis leucosticta</i>	0,834	0,001	***
<i>Calopterys</i> sp.	0,787	0,001	***
<i>Caenis</i> sp.	0,623	0,001	***
<i>Libellula</i> sp.	0,453	0,001	***
<i>Tipulida</i> nd	0,392	0,004	**
<i>Hynesionella omer cooperi</i>	0,333	0,138	
<i>Ophiogomphus</i> sp.	0,312	0,041	*
<i>Elodes</i> sp.	0,277	0,097	.
<i>Micronecta</i> sp.	0,260	0,411	
<i>Onychogomphus</i> sp.	0,200	0,305	
<i>Lepidostoma hirtum</i>	0,200	0,280	
<i>Oulimnius</i> sp.	0,200	0,268	
<i>Groupe II+III</i>			
<i>Rhagovelia</i> sp.	0,388	0,054	.
<i>Afronurus euthrus</i>	0,248	0,159	

<i>Lumbricidae</i> nd	0.157	0.853	
<b>Groupe II+IV</b>			
<i>Velia</i> sp.	0.838	0.001	***
<i>Epitheca bimaculata</i>	0.206	0.238	
<i>Cymatia</i> sp.	0.168	0.354	
<b>Groupe III+IV</b>			
<i>Oligoneuriella</i> sp.	0.356	0.042	*
<i>Brachytron pratense</i>	0.354	0.008	**
<i>Tenagobius albivittatus</i>	0.331	0.028	*
<i>Perla</i> sp.	0.316	0.017	*
<i>Limnogobius</i> sp.	0.282	0.177	
<i>Hygrobia</i> sp.	0.280	0.105	
<i>Demoreptus</i> sp.	0.277	0.125	
<i>Hydrochus</i> sp.	0.228	0.361	
<i>Potamonautus</i> sp.	0.194	0.455	
<i>Ameletus inopis</i>	0.194	0.458	
<i>Heptagenia</i> sp.	0.194	0.442	
<i>Gyrinus</i> sp.	0.158	0.714	
<b>Groupe I+II+III</b>			
<i>Paragomphus</i> sp.	0.627	0.014	*
<b>Groupe I+II+IV</b>			
<i>Coenagrion pro parte</i>	0.982	0.001	***
<i>Cura foremanii</i>	0.743	0.001	***
<i>Orthetrum</i> sp.	0.688	0.001	***
<i>Haplontaxidae</i> nd	0.375	0.073	.
<i>Somatochlora pro parte</i>	0.261	0.498	
<i>Afronurus barnadi</i>	0.239	0.544	
<b>Groupe I+III+IV</b>			
<i>Poissonia</i> sp.	0.732	0.001	***
<i>Gomphus</i> sp.	0.703	0.001	***
<i>Diplectrona felix</i>	0.585	0.048	*
<i>Adenophlebia auriculata</i>	0.516	0.009	**
<i>Trichostegia minor</i>	0.316	0.151	
<i>Mesovelis</i> sp.	0.303	0.141	
<i>Hemiclepsis marginata</i>	0.274	0.309	
<i>Aeshnidae</i> sp.	0.204	0.680	
<i>Elmis</i> sp.	0.204	0.659	
<i>Torleya</i> sp.	0.158	0.910	
<b>Groupe II+III+IV</b>			
<i>Aulonogyrus flavipes</i>	0.618	0.016	*
<i>Blaberidae</i> nd	0.562	0.031	*
<i>Orectogyrus specularis</i>	0.521	0.088	.
<i>Hydrocyphon</i> sp.	0.372	0.078	.

<i>Plea leachi</i>	0.246	0.358	
<i>Dryops</i> sp.	0.186	0.576	
<i>Rhagadotarsus</i> sp.	0.186	0.680	
<i>Anaciaeshna</i> sp.	0.161	0.795	
<i>Ecnomus</i> sp.	0.161	0.790	
<i>Catagapetus</i> sp.	0.161	0.791	
<i>Limnebius</i> sp.	0.161	0.795	

## Annexe 2: Valeurs indicatrices de la deuxième partition

Taxons	IndVal	P value	Signification
<b>Groupe I</b>			
<i>Haementeria costata</i>	0.517	0.001	***
<i>Radix</i> sp.	0.372	0.005	**
<i>Stagnicola</i> sp.	0.350	0.004	**
<i>Planorbis</i> sp.	0.325	0.010	**
<i>Bulinus senegalensis</i>	0.274	0.044	*
<i>Chalcoleste</i> sp.	0.274	0.049	*
<i>Cryptothrix</i> sp.	0.274	0.041	*
<i>Melania tuberculata</i>	0.265	0.043	*
<b>Groupe II pas d'espèces</b>			
<b>Groupe III</b>			
<i>Caridina africana</i>	0.896	0.001	***
<i>Adenophlebia sylvatica</i>	0.809	0.001	***
<i>Caridina typus</i>	0.683	0.001	***
<i>Dinocras</i> sp.	0.659	0.001	***
<i>Marthamea</i> sp.	0.648	0.001	***
<i>Gerrisella settembrinoi</i>	0.504	0.001	***
<i>Macromia splendens</i>	0.477	0.001	***
<i>Eoperla</i> sp.	0.394	0.001	***
<i>Naboandelus</i> sp.	0.346	0.010	**
<i>Laccobius</i> sp.	0.315	0.026	*
<i>Ephemerythus</i> sp.	0.298	0.009	**
<b>Groupe IV</b>			
<i>Naucoridae</i> nd	0.705	0.001	***
<i>Microvelia</i> sp.	0.471	0.001	***
<i>Sericostoma</i> sp.	0.471	0.001	***
<i>Glossosoma</i> sp.	0.469	0.001	***
<i>Gerris</i> sp.	0.456	0.001	***
<i>Siphonurus</i> sp.	0.420	0.002	**
<i>Dineutus</i> sp.	0.350	0.015	*
<i>Brachythemis lacustris</i>	0.334	0.010	**
<i>Cordulegasteridae</i> nd	0.293	0.018	*
<i>Philopotamus</i> sp.	0.293	0.009	**

<i>Psephenidae</i>	0,293	0,010	**
<i>Rhitrogena</i> sp.	0,261	0,032	*
<b>Groupe I+II</b>			
<i>Chironomus</i> sp.	0,819	0,001	***
<i>Physa</i> sp.	0,661	0,001	***
<i>Branchiura sowerbyi</i>	0,459	0,002	**
<i>Potadoma</i> sp.	0,414	0,002	**
<b>Groupe I+III</b>			
<i>Simulidae</i> nd	0,659	0,01	**
<b>Groupe I+IV</b>			
<i>Brachythemis leucosticta</i>	0,834	0,001	***
<i>Calopterys</i> sp.	0,787	0,001	***
<i>Caenis</i> sp.	0,623	0,001	***
<i>Libellula</i> sp.	0,453	0,001	***
<i>Tipulida</i> nd	0,392	0,004	**
<i>Ophigomphus</i> sp.	0,312	0,041	*
<b>Groupe II+IV</b>			
<i>Velia</i> sp.	0,838	0,001	***
<b>Groupe III+IV</b>			
<i>Oligoneuriella</i> sp.	0,356	0,042	*
<i>Brachytron pratense</i>	0,354	0,008	**
<i>Tenagogonus albivittatus</i>	0,331	0,028	*
<i>Perla</i> sp.	0,316	0,017	*
<b>Groupe I+II+III</b>			
<i>Paragomphus</i> sp.	0,627	0,014	*
<b>Groupe I+II+IV</b>			
<i>Coenagrion pro parte</i>	0,982	0,001	***
<i>Cura foremanii</i>	0,743	0,001	***
<i>Orthetrum</i> sp.	0,688	0,001	***
<b>Groupe I+III+IV</b>			
<i>Poissonia</i> sp.	0,732	0,001	***
<i>Gomphus</i> sp.	0,703	0,001	***
<i>Diplectrona felix</i>	0,585	0,048	*
<i>Adenophlebia auriculata</i>	0,516	0,009	**
<b>Groupe II+III+IV</b>			
<i>Aulonogyrus flavipes</i>	0,618	0,016	*
<i>Blaberidae</i> nd	0,562	0,031	*

**Annexe 3: Valeurs indicatrices de Troisième partition**

<b>Groupe I</b>					
<b>Taxons</b>	<b>Spécificité</b>	<b>Fidélité</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Signification</b>
<i>Haementeria costata</i>	0,8901	0,3000	0,517	0,001	***
<i>Radix</i> sp.	0.7916	0.1750	0,372	0,005	**
<i>Stagnicola</i> sp.	0.9785	0.1250	0,350	0,004	**
<i>Planorbis</i> sp.	0.8438	0.1250	0,325	0,010	**
<i>Bulinus senegalensis</i>	1.0000	0.0750	0,274	0,044	*
<i>Chalcoleste</i> sp.	1.0000	0.0750	0,274	0,049	*
<i>Cryptothrix</i>	0.9360	0.0750	0,274	0,041	*
<i>Melania tuberculata</i>	0.9360	0.0750	0,265	0,043	*
<b>Groupe III</b>					
<i>Caridina africana</i>	0.9511	0.8444	0,896	0,001	***
<i>Adenophlebia sylvatica</i>	0.7745	0.8444	0,808	0,001	***
<i>Caridina typus</i>	1.0000	0.4667	0,683	0,001	***
<i>Dinocras</i> sp.	0.7237	0.6000	0,659	0,001	***
<i>Marthamea</i> sp.	0.8593	0.4889	0,648	0,001	***
<i>Gerrisella settembrinoi</i>	0.8158	0.3111	0,504	0,001	***
<i>Macromia splendens</i>	0.7302	0.3111	0,447	0,001	***
<i>Eoperla</i> sp.	1.0000	0.1556	0,394	0,001	***
<i>Naboandelus</i> sp.	0.7686	0.1556	0,346	0,010	**
<i>Laccobius</i> sp.	0.7438	0.1333	0,315	0,026	*
<i>Ephemerythus</i> sp.	0.8000	0.1111	0,298	0,009	**
<b>Groupe IV</b>					
<i>Naucoridae</i> nd	0.64345	0.77143	0.705	0.001	***
<i>Microvelia</i> sp.	0.77663	0.28571	0.471	0.001	***
<i>Sericostoma</i> sp.	0.96970	0.22857	0.471	0.001	***
<i>Glossosoma</i> sp	0.85597	0.25714	0.469	0.001	***
<i>Gerris</i> sp.	0.72832	0.28571	0.456	0.001	***
<i>Siphonurus</i> sp.	0.88048	0.20000	0.420	0.002	**
<i>Dineutus</i> sp.	0.61277	0.20000	0.350	0.015	*
<i>Brachythemis lacustris</i>	0.78072	0.14286	0.334	0.010	**
<i>Cordulegasteridae</i> nd	1.00000	0.08571	0.293	0.018	*
<i>Philopotamus</i> sp.	1.00000	0.08571	0.293	0.009	**
<i>Psephenidae</i> nd	1.00000	0.08571	0.293	0.010	**
<i>Rhitrogena</i> sp.	0.79412	0.08571	0.261	0.032	*
<b>Groupe I+II</b>					
<i>Chironomus</i> sp.	0.9274	0.7237	0,819	0,001	***
<i>Physa</i> sp.	0.8738	0.5000	0,661	0,001	***

<i>Branchiura sowerbyi</i>	1.0000	0.2105	0,459	0,002	**
<i>Potadoma</i> sp.	1.0000	0.1711	0,414	0,002	**
<b>Groupe I+III</b>					
<i>Simulidae</i> nd	0.9309	0.7467	0.834	0.001	***
<b>Groupe I+V</b>					
<i>Brachythemis leucosticta</i>	0.9309	0.7467	0.834	0.001	***
<i>Calopterys</i> sp.	0.8755	0.7067	0.787	0.001	***
<i>Caenis</i> sp.	0.9404	0.4133	0.623	0.001	***
<i>Libellula</i> sp.	0.9634	0.2133	0.453	0.001	***
<i>Tipulida</i> nd	0.8873	0.1733	0.392	0.004	**
<i>Ophigomphus</i> sp.	0.9132	0.1067	0.312	0.041	*
<b>Groupe II+IV</b>					
<i>Velia</i> sp.	0.8457	0.8310	0.838	0.001	***
<b>Groupe III+IV</b>					
<i>Oligoneuriella</i> sp.	0.9201	0.1375	0.356	0.042	*
<i>Brachytron pratense</i>	1.0000	0.1250	0.354	0.008	**
<i>Tenagonus albivittatus</i>	0.9723	0.1125	0.331	0.028	*
<i>Perla</i> sp.	1.0000	0.1000	0.316	0.017	*
<b>Groupe I+II+III</b>					
<i>Paragomphus</i> sp.	0.898	0.438	0.627	0.014	*
<b>Groupe I+II+IV</b>					
<i>Coenagrion pro parte</i>	0.9915	0.9730	0.982	0.001	***
<i>Cura foremanii</i>	0.9891	0.5586	0.743	0.001	***
<i>Orthetrum</i> sp.	0.9908	0.4775	0.688	0.001	***
<b>Groupe I+III+IV</b>					
<i>Poissonia</i> sp.	0.9198	0.5833	0.732	0.001	***
<i>Gomphus</i> sp.	0.9409	0.5250	0.703	0.001	***
<i>Diplectrona felix</i>	0.9347	0.3667	0.585	0.048	*
<i>Adenophlebia auriculata</i>	0.9681	0.2750	0.516	0.009	**
<b>Groupe II+III+IV</b>					
<i>Aulonogyrus flavipes</i>	0.9053	0.4224	0,618	0,016	*
<i>Blaberidae</i> nd	0.8712	0.3621	0,562	0,031	*

**PUBLICATION SCIENTIFIQUE**

**(1)Wilfreid Christiane Noël Betsi,** Samuel Foto Menbohan 1, Nathaniel Larry Lactio, Yvonne Laure Tchouapi, Marie Anita Zemo Temgoua, Donald L’or Nyame Mbia, Serge Roger Gwos Nhiomock, Mathias Nwaha, Eric Belmond Biram A Ngon, Jean Dzavi, Blaise Rollinat Mboyé and Moïse Nola., 2023. Comparative approach of the fauna diversity of benthic macroinvertebrates in a stream on ferralitic soil and equatorial climate at 2 seasons in Cameroon (Central Africa). *World Journal of Advanced Research and Reviews (WJARR)*. Pages 254–2

## Comparative approach of the fauna diversity of benthic macroinvertebrates in a stream on ferralitic soil and equatorial climate at 2 seasons in Cameroon (Central Africa)

Wilfreid Christiane Noel Betsi <sup>1,\*</sup>, Samuel Foto Menbohan <sup>1</sup>, Nathaniel Larry Lactio <sup>1</sup>, Yvonne Laure Tchouapi <sup>1</sup>, Marie Anita Zemo Temgoua <sup>1</sup>, Donald L'or Nyame Mbia <sup>1</sup>, Serge Roger Gwos Nhiomock <sup>1</sup>, Mathias Nwaha <sup>1</sup>, Eric Belmont Biram A Ngon <sup>1,2</sup>, Jean Dzavi <sup>1,2</sup>, Blaise Rollinat Mboyé <sup>3</sup> and Moïse Nola <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratory of Hydrobiology and Environment, Faculty of Science, University of Yaoundé I, P.O. BOX 812, Yaoundé, Cameroon.*

<sup>2</sup> *Hydrological Research Centre, Institute of Geological and Mining Research, Yaoundé, Cameroon.*

<sup>3</sup> *Laboratory of Hydrobiology and Ichthyology, Institute of Agronomic and Forestry Research, P.O.Box: 2246 Libreville, Gabon.*

World Journal of Advanced Research and Reviews, 2023, 19(01), 254–264

Publication history: Received on 10 April 2023; revised on 01 July 2023; accepted on 04 July 2023

Article DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.1.0934>

### Abstract

In order to determine the structure of benthic macroinvertebrates fauna in relation with some environmental factors, a study was carried out in the Esoa river at Nkongsamba in the Littoral region of Cameroon from January 2021 to January 2022. Physico-chemical parameters were measured according to APHA and Rodier recommendations, while benthic macroinvertebrates sampling was done out according to the multihabitat approach at a monthly frequency. The physico-chemical analyses revealed very good oxygenation of the water, a tendency of neutrality for the pH ( $7.79 \pm 0.8$  UC) and a low and constant temperature ( $22.61 \pm 1.83$  °C). The BMI count showed 3732 individuals, including 4 phyla, 6 classes, 14 orders and 69 families and over 80 species. Besides, the class of insects, and in particular the order of Odonata, supplanted the benthic fauna. The Esoa 2 and Esoa 3 stations recorded the highest relative abundance of BMI (37.43% and 36.99% respectively) with a predominance of pollutant taxa, notably the families of Chironomidae, Physidae, Tubificidae and Lumbricidae. On the other hand, the Esoa 1 station, with low relative abundance (25.56%), was more diversified and dominated by polluosensitive taxa, including Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera. The high values of the Sørensen similarity index (65.62%) showed a high faunal similarity of the Esoa 2 and Esoa 3 stations. The high values of the Shannon and Weaver diversity index (4.6 bits/ind) indicated a high diversity of benthic macroinvertebrates reflecting the good ecological status of the waters of the Esoa stream.

**Keywords:** Benthic macroinvertebrates; Diversity; Water quality; Esoa river

### 1. Introduction

Aquatic ecosystems provide drinking, industrial and energy water. Besides their use as a resource, these environments are also essential habitats for biodiversity. Although freshwater accounts for only 0.01% of the world's water, it is essential for the survival of all life on earth and represents to nearly 6% of all counted species [1]. However, the world faces considerable challenges in managing available freshwater equitably, due to high population growth, coupled with galloping urbanization and climate change [2]. Industrialization, paired to the non-rational use of fertilizers and pesticides, as well as the lack of public awareness of the need to preserve environmental integrity, leads to an imbalance in aquatic ecosystems and generates pollutants that can affect these environments [3].

\* Corresponding author: Wilfreid Christiane Noel Betsi

Freshwaters are in most parts of the world the terminal receptacle of residues in the biosphere [3]. It is therefore essential to ensure adequate quality, availability and access to these resources in order to sustain livelihoods, human well-being, socio-economic development and healthy ecosystems. This requires assessment and monitoring of the physico-chemical and biological quality of water and the relevant legislation. In view of the limitations of physico-chemical analyses, which only give an idea of the contamination at the time of its introduction, analytical methods based on biological assessment which give a general overview of habitat conditions and environmental pressures, are increasingly used.

Different groups of aquatic organisms are used for such assessments, including phytoplankton, zooplankton, macrophytes, phytobenthos and benthic macroinvertebrates. Among them, benthic macroinvertebrates are the most stressed group due to their sedentary nature, varied life cycle, high diversity, variable tolerance to pollution and habitat degradation [4]. Benthic macroinvertebrates (BMIs) are visible to the naked eye, do not have a bony skeleton, such as insects, molluscs, crustaceans and worms, whose temperature varies greatly with the environment, and can live in a variety of habitats throughout their entire life cycle or only a part of their development phase [4]. They incorporate the cumulative and synergistic short-term effects (up to a few years) of multiple physical (habitat modification), biological and chemical disturbances of the hydrosystems.

In recent years, many studies focused on BMIs in Cameroon, in order to assess the health status of streams in urban and peri-urban areas. The impact of anthropogenic activities on the diversity and structure of BMIs has been indicated [5]. Some authors illustrated the ecological factor and Dictyoptera (Blaberidae) association BMIs, in some forest streams of the centre region through ecological and trophic particularities [6]. The impact of anthropogenic activities on water quality and freshwater shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala town through anthropisation and absence of sanitation systems has also been noted [7]. The spatiotemporal variation of benthic macroinvertebrates in some tropical forest stream of Nyong catchment through environmental particularities and bioindicators had been pointed by Dzavi et al [8]. Melle et al [9] also indicated the water quality of a lowland and urban stream by analyzing the structure of the BMIs population from specific features. The influence of granulometry on the distribution of benthic macroinvertebrates in some streams of the Mvilla and Haut Nyong watersheds from sediments had been shown by Nyame et al [10].

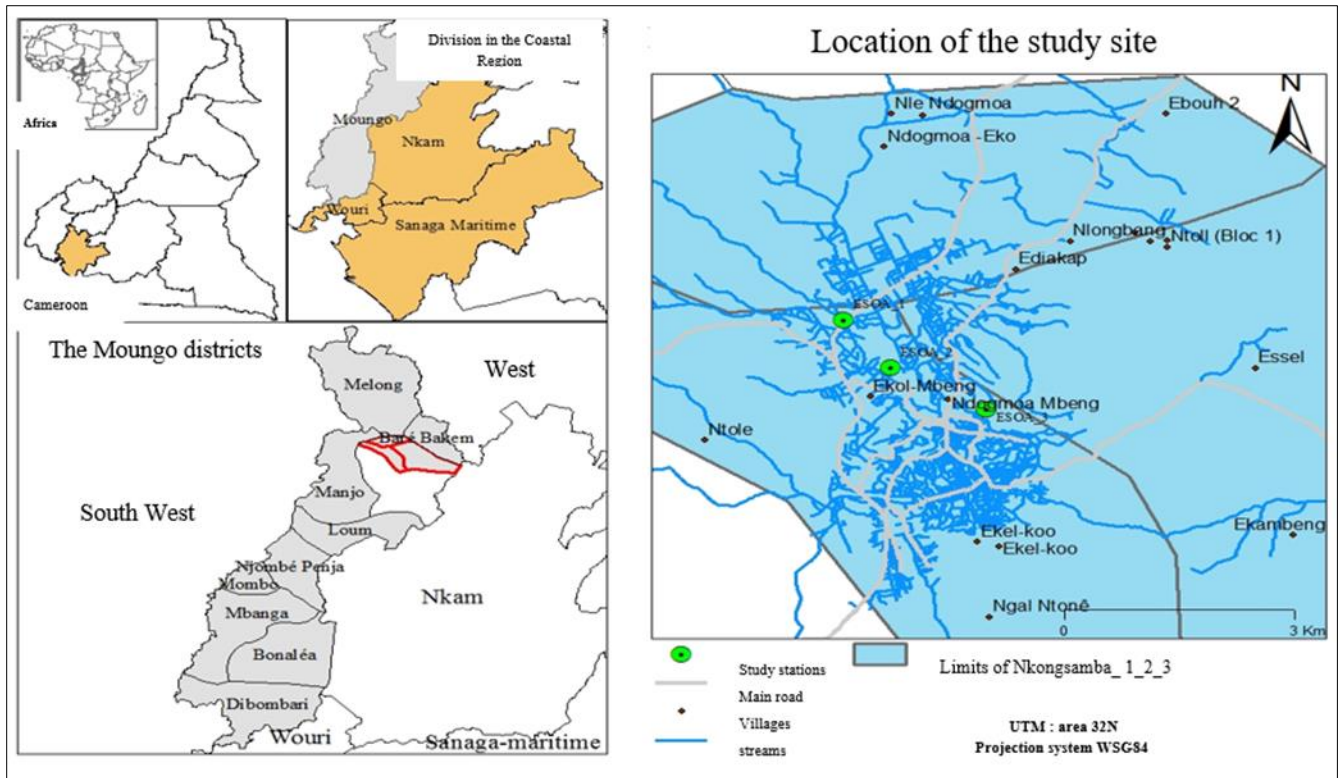
It has often been stated that local (or regional) soil and climatic conditions could significantly impact the survival, diversity, metabolism and reproduction of BMIs in the aquatic systems. Few studies were done on BMIs distribution and diversity in an equatorial climate with two seasons. A better knowledge of the structure of the communities, their similarity and their equipartition in relation with the physico-chemical parameters of the water would give an idea of the fauna diversity of BMIs. The aim of this study was to compare at the equatorial zone of 2 climate seasons, the faunal diversity of BMIs in a stream in ferallitic soil under a two season climate. More specifically, it focus (1) to measure the water physico-chemical parameters of the water; (2) to identify and count the different taxa of BMIs (3) and then to assess the water quality using biocenotic index.

---

## 2. Material and methods

### 2.1. Study environment

Nkongsamba is a fast-growing town in the Littoral region of Cameroon, lying between 4°57' North latitude and 9°56' East longitude. It is the capital of the Mounjo division, Nkongsamba district and is located at 145 kilometres from the city of Douala. It was set up as the urban community of Nkongsamba and comprises three communes, including the Nkongsamba 3 township, where our catchment area were located. The population is mostly cosmopolitan estimated at 400,000 inhabitants [11]. The Esoa watershed is bounded to the North by the village of Ndogmoa-Eko, to the East by the village of Essel, to the South by the village of Ekel-koo and to the West by the Manjo district. The climate is of the equatorial Guinean type, and Cameroonian sub-type [12]. This climate is characterised by two seasons: a long rainy season from March to October and a short dry season from November to February. Rainfall is abundant and regular, with an estimated annual rainfall of 491 mm. The air temperature is variable with a maximum value of 28°C and a minimum value of 17°C [13]. The terrain is rugged, consisting of hills, plateaus, lowlands and valleys with small streams flowing through them. There are two types of soils: hydromorphic soils, predominantly yellow to ochre-yellow in color, and ferrallitic soils, dark in color [14]. There is a sandy texture on the surface, then sandy-clay and sometimes clayey-sandy at depth, and the pH is acidic [14]. The vegetation consists of secondary and tertiary forests, as well as herbaceous and shrubby savannahs.



**Figure 1** Hydrographic map of the Esoa catchment area with sampling stations (made with QGIS software)

## 2.2. Sampling of environmental variables

Geographical coordinates and altitude were taken in the field using a Garmin 60 S GPS. For hydrological parameters, the width of the water column was measured using a graduated string stretched horizontally from the end of one bank to the other. The depth was measured with a graduated stake. The flow velocity of the water was determined by measuring the distance that the polystyrene block travelled over a given time. Physico-chemical analyses were performed both in the field and the laboratory following standard protocols [15-16]. Temperature, pH, electrical conductivity and total dissolved solids were measured in situ using a HANNA HI 98130 multimeter, dissolved oxygen measured using a HANNA HI 9147 oxymeter. For laboratory analysis, water samples were taken at each station using sterilized 250 ml and 1000 ml polyethylene bottles and transported to the laboratory in a refrigerated chamber. Carbon dioxide, alkalinity and oxydability were measured volumetrically. Turbidity, color, suspended solids, orthophosphates and nitrogen forms were measured using the Hydro Test HR 1000 spectrophotometer.

## 2.3. Sampling of benthic macroinvertebrates

Benthic macroinvertebrates were collected using a 30 cm square net with a conical net of 500  $\mu\text{m}$  mesh size and 50 cm depth, following the multihabitat approach [17]. At each station, about 20 dip-net hauls were made over a length of about 50 cm, equivalent to an area of about 3  $\text{m}^2$ , in different habitats characterized by the substrate/velocity pair. The organisms retained in the net were collected with a pair of fine tweezers and fixed with 10% formalin. The collected specimens were rinsed with tap water to remove the formalin, then preserved in 70° ethanol. The organisms were then placed in petri dishes and grouped according to their size and morphology, then identified at least to the rank of the family, under a Bresser Science ETD-101 binocular loupe, using the identification keys [18-19-20].

## 2.4. Data analysis

The Kruskal Wallis and Man Whitney tests were used to compare the mean values of the different parameters between stations and from one month to another. These tests were carried out using SPSS software version 20.0. Analyses of the diversity and structure of benthic macroinvertebrates were carried out using the calculation of abundance (N), taxonomic richness index, Shannon and Weaver diversity index ( $H'$ ), and the Piélou Equitability index (J). All this was done using PAST software. The Principal component analysis (PCA) was performed to search for affinities between biological and physicochemical variables.

### 3. Results

#### 3.1. Physico-chemical parameters

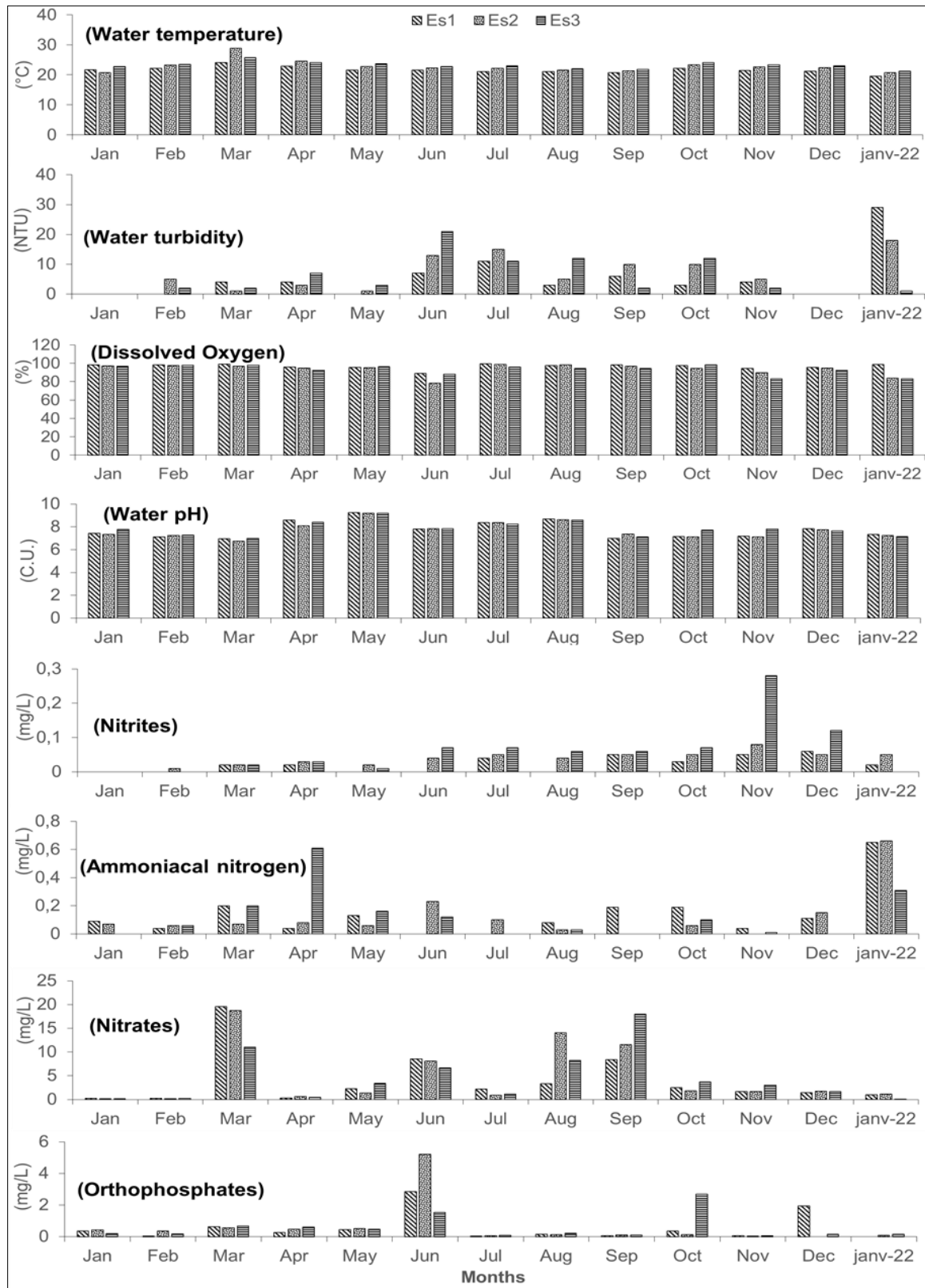


Figure 2 Spatio-temporal variation of physico-chemical parameters in the Esoa stream during the study period.

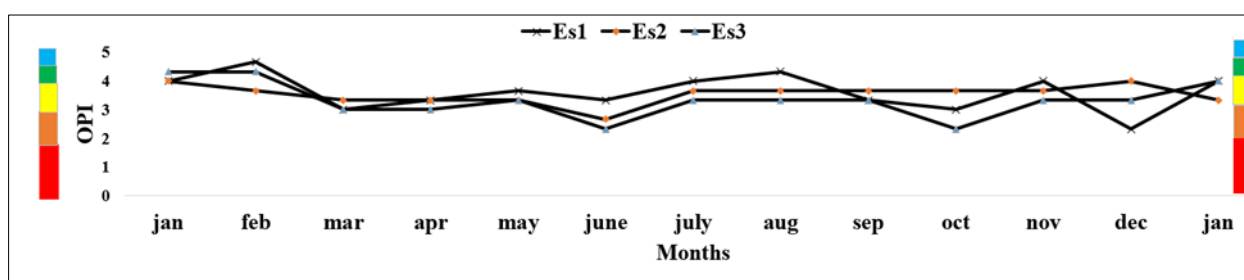
From one station to another, the temperature varied from 19.5° C to 28.8° C, the extreme values being recorded at the Esoa 1 and Esoa 2 stations in January 2022 and March 2021 respectively (Figure 2). Turbidity values ranged from 0 NTU to 29 NTU, with the maximum value being obtained at the Esoa 1 station in January (2022) (Figure 2). These parameters showed a temporally significant difference ( $p \leq 0.05$ ) between the months of January and March.

The dissolved oxygen values varied from 78.37% (Esoa 2-June) to 99.39% (Esoa 1-July) (Figure 2C). On the other hand, pH fluctuated between 6.73 C.U (March-Esoa 2) and 9.25 C.U (May-Esoa 1) (Figure 2). The Kruskal Wallis test shows no significant difference spatially, but temporally significant differences ( $p \leq 0.05$ ) were observed between March and May.

The ammoniacal nitrogen levels showed an average of  $0.15 \pm 0.14$  mg/l (Figure 2). Nitrites levels varied from 0 to 0.28 mg/l, with the highest value obtained at the Esoa 3 station in November (Figure 2). Nitrates values fluctuate from 0.06 to 19.6 mg/l, with the highest value obtained at the Esoa 1 station in March (Figure 2). Orthophosphates levels fluctuated between 0 mg/l and 5.2mg/l, with the highest value obtained in June at the Esoa 2 station (Figure 2). Furthermore, these parameters showed significant differences temporally, especially nitrites, nitrates and orthophosphates ( $p \leq 0.05$ ) between the months of January and March.

### 3.1.1. Organic Pollution Index (OPI) (Leclerc, 2001)

The OPI values varied from 2.88 (Esoa 3 and Esoa 2-June) to 4.7 (Esoa 1-February) with an average of 3.5 (Figure 3). Thus, in the whole Esoa river, the OPI indicates a moderate level of organic pollution.



**Figure 3** Spatio-temporal variation of OPI in the Esoa stream during the study period

## 3.2. Biological parameters

### 3.2.1. Taxonomic richness and abundance of benthic macroinvertebrates

During this study, a total of 3732 individuals belonging to 4 phyla (Molluscs, Arthropods, Annelids and Plathelminthes), 7 classes (Gastropods, Crustacea, Insects, Turbellariidae, Achaetes and Oligochaetes), 14 orders and 69 families were collected. The class of Insects was the most diverse with 8 orders, 59 families and almost 92 genera, followed by Oligochaeta with 2 orders and 4 families, Gastropoda with 1 order and 3 families, and Turbellaria, Crustacea and Achaeta with 1 order and 1 family each. Among the 14 orders recorded, 10 were very frequent, notably Coleoptera with 11 families, followed by Trichoptera and Diptera with 10 families, Odonata, Heteroptera and Ephemeroptera with 9 and 8 families respectively, then Bassomatophora and Haplotaxida with 3 and 2 families respectively then Decapoda and Tricladida with 1 family each.

Spatially, the Esoa 1 station was the most diverse with 50 families and 917 individuals, for a relative abundance of 24.57%, followed by the Esoa 2 station with 46 families and 1466 individuals, for a relative abundance of 39.28% and the Esoa 3 station with 33 families and 1349 individuals, for a relative abundance of 36.14%.

The family of Gerridae predominated at the station Esoa 1, followed by the families of Gyrinidae and Belostomidae with relative abundances of 15.54%, 9.59% and 9.26% respectively. At the Esoa 2 station, the family of Coenagrionidae (*Coenagrion pro parte*) supplanted with 26.94% of relative abundance. Finally, at the station Esoa 3, the family of Physidae (Physa) dominated with 27.94% of relative abundance.

### 3.2.2. Coefficient of similarity and diversity index

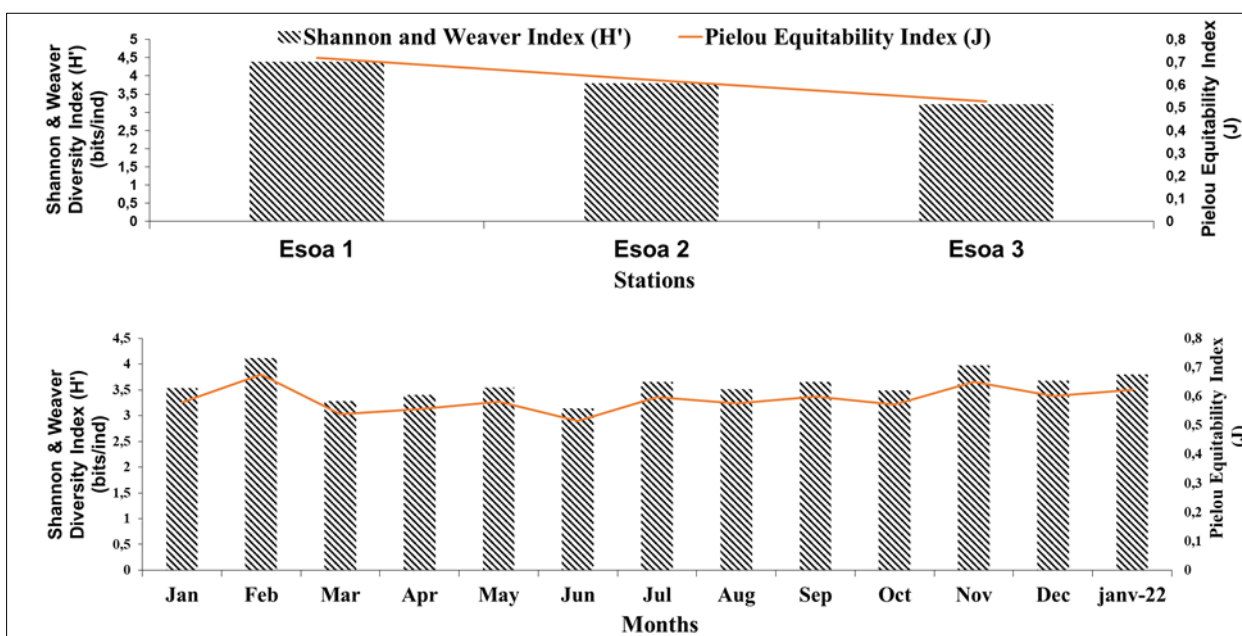
The similarity coefficient of Sørensen varied from 62.5% (Esoa 1 and Esoa 3) to 65.62% (Esoa 2 and Esoa 3), showing a very high similarity of macrofauna at stations Esoa 2 and Esoa 3 (Table 1).

**Table 1** Evolution of the similarity coefficient between the stations during the study period

Stations	Esoa 1 & Esoa 2	Esoa 2 & Esoa 3	Esoa 1 & Esoa 3
Similarity coefficient of Sørensen	62.5%	65.62%	60.24%

Spatial and temporal analysis of the benthic macrofauna data in the Esoa river revealed that, spatially, the Shannon and Weaver diversity index  $H'$  was higher upstream (4.36 bits/ind at Esoa 1) and decreased progressively downstream (3.22 bits/ind at Esoa 3) a similar variation was observed with the Pielou equitability index ( $J$ ), which showed values regressing from upstream (0.71 bits/ind at Esoa 1) to downstream (0.52 bits/ind at Esoa 3) (Figure 4).

Temporally, June showed the lowest diversity (3.18 bits/ind) and February the highest (4.15 bits/ind). The values of the Pielou equitability index  $J$  ranged from 0.51 bits/ind in June to 0.67 bits/ind in February (Figure 4).



**Figure 4** Spatio-temporal variation of Shannon & Weaver diversity ( $H'$ ) and Pielou equitability ( $J$ ) index during the study period

### 3.2.3. Correlation coefficient

The analysis of the physico-chemical and biological parameters allowed us to note positive and negative correlations between the physico-chemical and biological factors on one hand and between the biological factors on the other. Thus, significant and positive correlations were observed between temperature and oxydability ( $r=0.556$  ;  $p=0.01$ ), oxydability and carbon dioxide ( $r=0.446$  ;  $p=0.01$ ), temperature and nitrites ( $r=0.619$  ;  $p=0.01$ ), turbidity and color ( $r=0.453$ ;  $p=0.01$ ), orthophosphates and carbon dioxyde ( $r=0.489$ ;  $p=0.01$ ), carbon dioxyde and Gomphidae ( $r=0.494$ ;  $p=0.01$ ), temperature and Physidae ( $r=0.494$ ;  $p=0.01$ ), oxydability and Coenagrionidae ( $r=0.459$  ;  $p=0.03$ ), dissolved oxygen and Perlidae ( $r=0.409$ ;  $p=0.1$ ), temperature and Chironomidae ( $r=0.528$ ;  $p=0.01$ ), temperature and Physidae ( $r=0.494$ ), carbon dioxide and Gyrinidae ( $r=0.517$ ;  $p=0.01$ ), Glossiphoniidae and Coenagrionidae ( $r = 0.441$  ;  $p=0.01$ ), Tubificidae and Coenagrionidae ( $r=0.573$ ;  $p=0.01$ ), Scirtidae and Lepidostomatidae ( $r=0.552$  ;  $p=0.01$ ), Leptoceridae and Pleidae ( $r=0.530$ ;  $p=0.01$ ), Aeshnidae and Veliidae ( $r=0.502$ ;  $p=0.01$ ), Tubificidae and Chironomidae ( $r=0.447$ ;  $p=0.01$ ).

Negative correlations were observed between carbon dioxide and Ephemerellidae ( $r=-0.460$ ;  $p=0.03$ ), dissolved oxygen and Dugesidae ( $r=-0.467$ ;  $p=0.03$ ), orthophosphates and Hydropsychidae ( $r=-0.428$ ;  $p=0.07$ ), Nitrites and Belostomidae ( $r=-0.415$ ;  $p=0.00$ ), Physidae and Belostomidae ( $r=-0.419$ ;  $p=0.05$ ), Physidae and Calopterygidae ( $r=-0.454$ ).

## 4. Discussion

### 4.1. Environmental variables

The low temperature fluctuations in the Esoa river were strongly linked to those of the air. Moreover, the low values recorded were due to the microclimate created by the canopy, which reduces the penetration of light rays responsible for the rise in the temperature of the environment. In this respect, Liechti et al [21] pointed out that the temperature of surface waters is closely influenced by the ambient temperature and the seasons. In addition, the localized destruction of the riparian forest at Esoa 2 due to human activities is thought to be responsible for the changes in the thermal regime in this area. Similar observations were reported in the Mefou catchment by Nyamsi [22].

The SEQ-Eau Grid (MEDD and Water Agency [23]) have been showed turbidity values line in the very good to poor quality ranges, thus requiring simple treatment. This result is similar to those obtained on the Kondi stream, on the Tongo'a-Bassa stream and on the Ndog Bissolo stream by many authors [24-25-26]. However, the high value of this parameter (29 NTU) obtained in January would be due on the one hand to the input of dissolved organic matter by runoff water and on the other hand to the resuspension of the bottom substrate which would release substances such as humic acids and colloidal substances into the environment.

The high values of dissolved oxygen would be due to the strong photosynthetic activity of the watershed, the natural ventilation induced by the foliage, the presence of riffles and meanders that create conditions of turbulence and recirculation of the waters, favouring their re-oxygenation at the water/air interface [27]. But also the cascades along the Esoa stream that would also favour the mixing and oxygenation of the waters. In this regard, MDDEFP [4] points out that the sills of the watercourses are continuous and the presence of boulders or waterfalls creates a form of sinuosity that improves the structure of the watercourse and promotes its oxygenation. These results are close to those obtained in the peri-urban streams of Douala by Tchakonté [25].

The pH values (6.73 C.U.-9.25 C.U) recorded reflect the slightly acidic to basic nature of the waters of the Esoa stream with an average of  $7.83 \pm 0.8$  C.U. This fluctuation would be linked to various factors such as the geological nature of the soil (hydromorphic and ferralitic), the activity of aquatic organisms, wastewater discharges and various wastes introduced into the riverbed. To this end, many authors point out that the pH of natural waters depends on the geological nature of the underlying rocks and the drained soils [28-29]. Similarly, household wastes contributes to a strong modification of the pH of surface waters have been pointed by Ngambi [30]. This pH is similar to that obtained on the Kondi stream (5.5-10.2) and in the peri-urban streams of the city of Douala (Tongo'a-Bassa and Mgoua) by Domche [31] and Tchakonté [25], but differs from that obtained on the Ndog-Bissolo stream (5.25-7.34) located in the same ecological region by Ndourwe [26].

The average ammonia nitrogen content ( $0.15 \pm 0.14$  mg/l) indicates good water quality, according to SEQ-Eau grid (MEDD and Water Agency [23]). The low ammoniacal nitrogen content makes the environment capable of hosting a large number of pollutant-sensitive taxa, suitable for recreation and of rather good quality for drinking water production and aquaculture. The peaks in ammonia nitrogen and orthophosphates observed during the rainy season are thought to be related to the influx of accumulated litter, fertilised farmland and wastewater leached by the first rains. In this regard, Hébert et al [32] point out that ammoniacal nitrogen and orthophosphates come mainly from the leaching of fertilized agricultural land, as well as municipal or industrial wastewater. These results are similar to those obtained in anthropized rivers in the coastal region by Onana [24]. However, the relatively low concentrations of ammonia nitrogen would reflect the low mineralization of the waters and the low anthropized character of the watershed. This result is similar to that obtained on the Konglo stream by Dzavi [33], on the Mbeme stream at Mbalmayo by Tchouapi [34] and on the Ndog-Bissolo stream by Ndourwe [26].

The nitrites levels reveal good water quality according to the SEQ-Eau grid (MEDD and Water Agency [23]). The low nitrite values could be justified by low fertilizer use on agricultural land in the Esoa catchment.

### 4.2. Biological variables

The taxonomic richness of benthic macroinvertebrates (69 families) observed in the Esoa stream is relatively higher than those obtained in the Mgoua watershed stream (57 families) which belongs to the same ecological region by Tchakonté [25]. We also note that this taxonomic richness is higher than that obtained in 5 rivers of the Mfoundi basin notably the Ekooza, Ewoué, Mingoa, Ntsomo and Tongolo, for a cumulative taxonomic richness of 29 families by Foto Menbohan et al [35]. This would be due to the low level of anthropization in the Esoa catchment compared to the Mfoundi and Mgoua catchments.

The class of insect was the most diverse and abundant, with 77.49% of relative abundance. In fact, this predominance and the great diversity of insects reflect the low anthropogenic character of its catchment area and the very good quality of the water. The relative similarity between the taxonomic richness observed at the different stations is due to the homogeneous character of the microhabitats of this watercourse. According to some authors, most aquatic insects are very sensitive to pollution and/or habitat modification and are therefore the first to disappear in a disturbed environment [36-20-4].

The abundance of Odonata (of 28.65% relative abundance) is linked to the strong riparian vegetation that borders the watercourse and the bridges present downstream of certain stations that considerably reduce the speed of the current and favour their settlement. In this respect, Tachet et al [20] state that Odonata prefer weak currents and develop preferentially in the grass bed.

The absence of Plecoptera at stations Esoa 2 and Esoa 3 is linked to the increase of anthropogenic phenomena observed in the catchment area. Indeed, these species are very sensitive to pollution, which would explain their disappearance at these stations. In this regard, MDDEF [4] states that these organisms are very sensitive to pollution and prefer well-oxygenated environments. This would justify their presence at the Esoa 1 station, which is relatively unmanaged with a very high oxygenation rate (99.05%).

The abundance of Chironomidae diptera and Molluscs (Physidae) at station Esoa 2 is due to the accumulation of household wastes in the river bed reducing the flow speed and favouring their biodegradation and the enrichment of the environment at the origin of the development of these organisms. The high abundance of Physidae at the Esoa 3 station would be due to the rise in water levels which favours the transport of wastes downstream. This is justified by the peak of the families of Physidae (150) and Chironomidae (83) collected in March and April respectively with the effective return of the rains and by the high values of oxydability obtained at these stations. Moisan et al [37] point out that in polluted hydrosystems, the benthic macrofauna is largely dominated by saprophilic taxa such as Chironomidae, Physidae and Lymnaeidae. Spatially, the decrease from upstream to downstream of the abundance of benthic macroinvertebrates families (50 families at Esoa 1), 46 families (Esoa 2) and 33 families (Esoa 3) can be explained by changes in their habitat. In this regard, Moisan et al [37] point out that the decline of the abundance of benthic macrofauna is linked to the reduction of microhabitats. On the other hand, an opposite trend can be observed in the abundance of individuals with a sinusoidal variation whose peak (1466 individuals) is recorded at the Esoa 2 station. This could be justified by the growth and dominance of saprophilic organisms due to the proliferation of organic matter coming mainly from household wastes.

On a temporal scale, the taxonomic composition of benthic macroinvertebrates is disturbed by hydrological changes between consecutive seasons. Thus, we note that rainy months are generally favourable to an increase of the abundance of benthic macroinvertebrate taxa. This can be seen by a drop of the abundance in November followed by a recovery with a peak at Esoa 3 in March. This observation was also made by Foto Menbohan et al [38], who point out that the stability of the meteorological factors would be in favour of the high taxonomic diversity of benthic macroinvertebrates.

The Esoa 1 and Esoa 2 stations, on the other hand, show the highest diversity. However, they are faunistically dissimilar as shown by Sørensen's similarity index, which reveals rather high similarity between the macrofauna of stations Esoa 2 and Esoa 3 (65.62%).

The low values of Shannon and Weaver's diversity index and Piélou's equitability J at station Esoa 3 would be explained by the high abundance of the families of Coenagrionidae (*Coenagrion pro parte*) and Physidae (*Physa sp*) which stand out with a relative abundance of 42.36%. These results corroborate with those of Lévêque et al [39] who state that the Shannon and Weaver diversity index H' decreases when a taxon has a very high relative abundance.

Similarly, this remarkable specific diversity (H') observed in the upper and middle reaches of the Esoa river is linked to the relative integrity of this hydrosystem. Indeed, Fisher et al [40] and Dajoz [41] emphasise that an index of diversity is higher when the environmental conditions favour the installation and maintenance of a balanced, integrated biological community capable of adapting to changes. These high values would reflect the more or less equitable distribution of macroinvertebrates communities along the watercourse. Despite the variations of abundance observed between stations, the Kruskal-Wallis test carried out between months and stations did not indicate a significant difference at the 0.05 significance level.

---

## 5. Conclusion

The Esoa river, a tributary of the Moungo, is located in the peri-urban area of the Nkongsamba district and winds through a mountainous watershed of the dense secondary forest type. Physico-chemical analyses show very good oxygenation, a neutral pH, low values of nitrogenous forms and electrical conductivity, average temperature values and low values of orthophosphates reflecting a good quality of the river. Furthermore, the presence of Plecoptera upstream (Esoa 1 station) known as very sensitive to pollution, confirm the Esoa river status although the domination at the middle course and downstream of Chironomidae and Physidae who are polluo-resistant taxa.

---

## Compliance with ethical standards

### *Acknowledgments*

The authors thank the authorities of the Laboratory of Hydrobiology and Environment (LHE) of the Department of Animal Biology and Physiology of Faculty of Sciences of university of Yaounde I for the material made available to us as well as all the students who assisted us during the sampling campaigns and during the manipulations.

### *Disclosure of conflict of interest*

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this document.

---

## References

- [1] UN, Freshwater protection shows signs of progress. UN environment programme 50 years (1972-2022), 8p. [www.unep.org](http://www.unep.org). 2018.
- [2] IUCN, Conserving freshwater to preserve life. World Water Congress, Marseille (3-11 September 2021), 15-28p 2021.
- [3] Wang B., Liu D., Liu S., Zhang Y., Lu D. and Wang L., Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China. *Hydrobiologia*, 680: 39-51p 2012.
- [4] MDDEFP, Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat coier, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2nd edition, 88p 2013.
- [5] Foto Menbohan S., Dzavi j., Nzongang Kenfack C., Ntchantcho R., showed the impact of anthropogenic activities on the diversity and structure of benthic macroinvertebrates (2019).
- [6] Biram À Ngon E B., Foto Menbohan S., [...] Ngalamou Chamberline, ecological factor and Dictyoptera (Blaberidae) association benthic maroinvertebrates, in some forest stream in the centre region (2018).
- [7] Tchakonté Siméon., Ajeagah Gidéon., Dramane Diomande., Ngassam Pierre, impact of anthropogenic activities on water quality and freshwater shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala 2014.
- [8] Dzavi Jean., Foto Menbohan S., Mboye Blaise Rollinat., [...], Biram À Ngon E B spatiotemporal variation of benthic macroinvertebrates in some tropical forest stream of Nyong catchment 2022.
- [9] Melle Epounde A D., Foto Menbohan S., Nwaha Mathias., [...], Mbohhou Zachari, water quality of a lowland and urban stream by analyzing the structure of the benthic macroinvertebrates population from specific features 2023.
- [10] Nyame Mbia D L'OR., Foto Menbohan S., Gwos Nhiomock S R ., [...], Biram À Ngon E B, influence of granulometry on distribution of benthic macronvertebrates in some stream of the Mvilla and haut Nyong watersheds 2023
- [11] Jumia, Food., Nkongsamba, a city full of stories. Published (August 09, 2015) <http://www.food.jumia.ma> (accessed August 30, 2021). 2-6p 2015.
- [12] Suchel J.B., The climate of Cameroon. Doctoral thesis, University of Bordeaux III, 186p 1972.
- [13] Weather Spark, Climate and Average weather Year Round in Nkongsamba Cameroon, 8p. <http://www.fr.weatherspark.com> (accessed 20 August 2021) 2016.
- [14] Segalen P., Les sols du Cameroun. In: Atlas du Cameroun. I.R.Cam., Nkongsamba, 28p 1958.

- [15] American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environment Federation, Standard methods for examination of water and wastewater, 23rd ed. American Public Health Association, 800 I Street NW, Washington, DC 20001-3710, 2017.
- [16] Rodier J., Legube B., Merlet N., and Coll, L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, 1526p 2009.
- [17] Stark J.D., Boothroyd K.G., Harding J.S., Maxted J.R. and Scarsbrook M.R., Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams. New Zealand Macro-invertebrates working group, report no.1, Ministry for the Environment and Sustainable Management, fund project no. 5103, 57p, 2001.
- [18] De Moor I.J. & Day J.A. Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Volume 6: Arachnida & Mollusca. Chapter 3: Mollusca. Water Research Commission Report, No. TT 182/02, Pretoria-South Africa, pp 42-125, (2002).
- [19] Durand J. R. And Leveque C., Aquatic flora and fauna of Sahelo-Sudanian Africa. Tome II. Edition de l'ORSTOM, Paris 517p 1980.
- [20] Tachet H., Richoux P., Bournaud M. And Usseglio-Polatera P., Freshwater invertebrates: systematics, biology and ecology. CNRS édition, Paris, France, 588p 2010.
- [21] Liechti P., Frutiger A., and Zobrist J., Methods of analysis and assessment of Swiss watercourses. Module chimie, analyses physico-chimiques niveaux R & C. SAEFL Bern, 11-12p 2004.
- [22] Nyamsi Tchatcho N.L., Benthic macroinvertebrates of the Mefou river system: habitat, diversity and population dynamics, assessment of the biological integrity of the watercourses. Doctoral thesis/Ph.D in Biology of Animal Organisms, University of Yaoundé 1, 159p 2018.
- [23] MEDD and AE, Limit of "good status" class of water. Grid QEQ-Eau 5-10p 2013.
- [24] Onana F. M., Typology and biological quality of the streams of the Wouri River System based on zooplankton and benthic macroinvertebrate assemblages. Doctoral thesis/Ph.D in Biology of Animal Organisms, University of Yaoundé I, 125-156p 2015.
- [25] Tchakonte S., Diversity and structure of benthic macroinvertebrate populations in urban and peri-urban streams of Douala (Cameroon). Doctoral thesis/PhD in Biology of Animal Organisms, University of Yaoundé I, 179p 2016.
- [26] Ndourwe Far.B., Characterisation by benthic macroinvertebrates of a river in the Littoral Region: Ndog Bissolo. Master's thesis, University of Yaoundé 1, 40-55p 2021.
- [27] Fernandes J.D.F., De Souza A.T.L. and Tanaka M.O., Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? Atropical case study. Hydrobiologia, 724, 175-185p 2014.
- [28] Temgoua E., Bitom B., Djeuda T. H. B. and Yongue R., 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, 86-90p 2003.
- [29] Mbega J.D., Biodiversity of the fishes of the lower basin of the Ogooué (Gabon). Doctoral thesis, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur (Belgium), 514p 2004.
- [30] Ngambi J., Solid household waste in the city of Yaoundé (Cameroon): from linear management to a circular economy. Journal of sciences, 23p 2015.
- [31] Domche B., Diagnosis of the state of health of the Kondi river (Douala): study of zooplanktonic populations and benthic macroinvertebrates. Master's thesis, University of Yaoundé I, 47p 2015.
- [32] Hébert S., Développement d'un indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec, Ministère de L'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° En/970102, 20 p, 4 annexes (1997).
- [33] Dzavi J., Study of the benthic macroinvertebrate community of the Konglo stream, tributary of the Nyong at Mbalmayo. Master's thesis, University of Yaoundé I, 54p 2014.
- [34] Tchouapi Y.L., Distribution of benthic macroinvertebrates in a forest stream in Mbalmayo: the Mbeme. Master's thesis, University of Yaoundé I, 42p 2016.
- [35] Foto Menbohan S., Ecological research on the Mfoundi river system (Yaoundé): Biotyping essay. Doctoral thesis, Faculty of Science, University of Yaoundé I, 220 p 2012.

- [36] Charvet, Biological methods for assessing water quality based on benthic macroinvertebrates. DEA thesis, University of Claude Bernard -Lyon 1 France, 39 p 1995.
- [37] Moisan J., and Pelletier L., Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec - Cours d'eau peu profondes à substrat coier. Direction de suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 168p 2008.
- [38] Foto M. S., Zebaze Togouet S. H., Nyamsi Tchatcho N. L. et Njine T., 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 : 96-106p 2010.
- [39] Levêque C. and Balian E.V., Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream, Hydrobiologia, 542: 25-26p 2005.
- [40] Fisher S. G., Gray L. J., Grimm N. B. and Busch D. E., Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding, Ecological Monograph, 52: 93-110p 1982.
- [41] Dajoz R., Précis d'écologie. 5th edition, Bordas, Paris: 525 p 1985.