

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET DE PHYSIOLOGIE ANIMALES**

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

**LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

**Diversité des macroinvertébrés benthiques des  
cours d'eau de trois zones inondables à Yaoundé  
(Ezazou, Ngoa-ékellé et Ahala) et importance des  
variables physico-chimiques**

**Thèse**

Présentée et soutenue le 18 Juillet 2025 en vue l'obtention du diplôme de  
Doctorat / Ph.D en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

**Par :**

**MELLE EPOUNDE Adèle-Carine**

Matricule :03W184  
Master ès-Sciences



Devant le jury composé de :

Président : **NOLA Moïse**, Professeur,

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

*Membres : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, Professeur,*

**EFOLE EWOUKEM Thomas**, *Professeur,*

**TAMSA ARFAO Antoine**, *Maître de Conférences,*

Université de Yaoundé I ;

Université de Yaoundé I ;

Université de Yaoundé I ;

Université de Douala ;

Université de Yaoundé I.

*Année 2025*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET DE PHYSIOLOGIE ANIMALES**

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

**LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

**Diversité des macroinvertébrés benthiques des  
cours d'eau de trois zones inondables à Yaoundé  
(Ezazou, Ngoa-ékellé et Ahala) et importance des  
variables physico-chimiques**

**Thèse**

Présentée et soutenue le 18 Juillet 2025 en vue l'obtention du diplôme de  
Doctorat / Ph.D en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

**Par :**

**MELLE EPOUNDE Adèle-Carine**

Matricule : 03W184  
Master ès-Sciences

Devant le jury composé de :

Président : **NOLA Moïse**, Professeur,

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

*Membres : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, Professeur,*

**EFOLE EWOUKEM Thomas**, *Professeur,*

**TAMSA ARFAO Antoine**, *Maître de Conférences,*

Université de Yaoundé I ;

Université de Yaoundé I ;

Université de Yaoundé I ;

Université de Douala ;

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) 242239584  
Fax: (237) 242234496



REPUBLIC OF CAMEROON  
Peace - Work - Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
FACULTY OF SCIENCE

\*\*\*\*\*

P.O. BOX 812 Yaoundé  
Phone: (237) 242239584  
Fax: (237) 242234496

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 **MELLE EPOUNDE Adèle-Carine** Matricule **03W184**, soutenance autorisée par la correspondance N° 25-2717/UYI/VR-EPDTIC/DAAC/DA-AAC/DRD/SR/SR-A/CB-ER du Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du 27 juin 2025 sur le sujet intitulé : « **Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de trois zones inondables à Yaoundé (Ezazou, Ngoa-ékellé et Ahala) et importance des variables physico-chimiques** », attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation, qui a eu lieu le **Vendredi 18 juillet 2025** dans la salle **Multimédia** 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.

30 JUL 2025

Fait à Yaoundé, le.....

Examineurs


TAMBA ARFAD  
SA JEAGAH

Le Président du Jury

Nola Moïse  
Professeur

Le Chef de Département



<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>

## 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 Scolarité**  
**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	BEBEE Fadimatou	Maître de Conférences	En poste
11	BEBOY EDJENGUELE Sara N.	Maître de Conférences	En poste
12	FONKOUA Martin	Maître de Conférences	En poste
13	AKINDEH MBUH NJI	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	KENGNE NOUEMSI Anne Pascale	Maître de Conférences	En poste
24	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
25	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
26	MANANGA Marlyse Joséphine	Maître de Conférences	En poste
27	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
28	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS / UDs</i>
29	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
30	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
31	Palmer MASUMBE NETONGO	Maître de Conférences	En poste
32	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Maître de Conférences	En poste
33	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

34.	BAKWO BASSOGOG Christian Bernard	Chargé de Cours	En poste
35.	ELLA Fils Armand	Chargé de Cours	En poste
36.	EYENGA Eliane Flore	Chargée de Cours	En poste
37.	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
38.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
39.	MADIESSE KEMGNE Eugenie Aimée	Chargée de Cours	En poste
40.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
41.	MBOUCHE FANMOE Marceline J.	Chargée de Cours	En poste
42.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
43.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste
44.	WOGUIA Alice Louise	Chargée de Cours	En poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (50)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En poste
3.	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En poste
4.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeure	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UIY</i>
5.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	MEGNEKOU Rosette	Professeure	En poste
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 épse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
17.	JATSA BOUKENG Hermine épse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
18.	KANDEDA KAVAYE Antoine	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.	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste
23.	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste
24.	MONY Ruth épse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
25.	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Maître de Conférences	En poste
26.	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
27.	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
28.	TADU Zephyrin	Maître de Conférences	En poste
29.	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
30.	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
31.	YEDE	Maître de Conférences	En poste

32.	AMBADA NDZENGUE GEORGIA ELNA	Chargée de Cours	En poste
33.	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
34.	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
35.	FEUGANG YOUMSSI François	Chargé de Cours	En poste
36.	KENGNE Alvine Christelle Epse FOKAM	Chargée de Cours	En poste
37.	FOSSI TANKOUA Olivia Epse DJEUTCHOUANG SAYANG	Chargée de Cours	En poste
38.	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
39.	KOGA MANG Dobarra	Chargé de Cours	En poste
40.	LEME BANOCK Lucie	Chargée de Cours	En poste
41.	MAPON NSANGO Indou	Chargé de Cours	En poste
42.	METCHI DONFACK Mireille Flaure EPSE GHOUMO	Chargée de Cours	En poste
43.	NDENGUE Jean De Matha	Chargé de Cours	En poste
44.	NGOULATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
45.	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Cheffe Div. U. Bamenda</i>
46.	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste
47.	YOUNOUSSA LAME	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) (37)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	BIYE Elvire Hortense	Professeure	En poste

3.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4.	MBOLO Marie	Professeure	En poste
5.	NDONGO BEKOLO	Professeur	En poste
6.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

7.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8.	DJEUANI Astride Carole	Maître de Conférences	En poste
9.	MAHBOU SOMO TOUKAM Gabriel	Maître de Conférences	En poste
10.	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	Chargé 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	Chargée de Cours	En poste
22.	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargée de Cours	En poste
23.	NSOM ZAMBO EPSE PIAL Annie Claude	Chargée de Cours	<i>En détachement/UNESCO MALI</i>
24.	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Chargé de Cours	En poste
25.	KABELONG BANAHOU Louis-Paul-Roger	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	Chargée de Cours	En poste
31.	BOLIE Hubert	Assistant	En poste
33.	MACHE NKOUANDEU Pasma	Assistante	En poste
34.	MAFFO FOKOU Adèle	Assistante	En poste
35.	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste

36.	NTONMEN YPNKEU Amandine Flore	Assistante	En poste
37.	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.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
5.	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Professeur	En poste
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 Aimé	Maître de Conférences	En poste
13.	NDI Julius NSAMI	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

#### 6- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (33)

1.	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>DEPE/Univ. Bertoua</i>
2.	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/FSE/Uyi</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

1.	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
2.	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	<i>Director/HTTTC/UBda</i>
3.	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
4.	KAMTO Eutrophe Le Doux	Maître de Conférences	En poste
5.	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
6.	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
7.	NGOMO Orléans	Maître de <conférences	En poste
8.	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule MINRESI</i>
9.	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<i>Chef Div./MINESUP</i>
10.	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>Dir ENS/Uté Bertoua</i>
11.	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
12.	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
13.	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
14.	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Maître de Conférences	En poste
15.	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

16.	MELONG Radius	Chargé de Cours	En poste
17.	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
18.	MUNVERA MFIFEN Aristide	Chargé de Cours	En poste
19.	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
20.	NONO NONO Éric Carly	Chargé de Cours	En poste
21.	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
22.	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
23.	TCHAMGOUE Joseph	Chargé de Cours	En poste
24.	TSAFFACK Maurice	Chargé de Cours	En poste
25.	TSAMO TONTSA Armelle	Chargée de Cours	En poste
26.	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	En poste
27.	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste
28.	NGUEMDJO CHIMEZE Valery Wilfried	Assistant	En poste

#### 6- DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES (ER) (1)

	BODO Bertrand	Professeur	<i>Chef de Département</i>
--	---------------	------------	----------------------------

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

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Division des SI/MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Inspecteur Général Académique/ MINESUP</i>
3.	NDOUNDAM René	Professeur	En poste

4.	ABESSOLO ALO'O Gislain	Maître de Conférences	<i>CTI/MINFOPRA</i>
5.	MELATAGIA YONTA Paulin	Maitre de Conférences	En poste
6.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste
6.	AMINO HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
7.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargée de Cours	En Poste
8.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
9.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10.	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Chargé de Cours	En poste
11.	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
12.	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste
13.	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
15.	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	<i>Chef de Département/Génie Info./U Ebolowa</i>
16.	MONTHÉ DJIADEU Valéry M.	Chargé de Cours	En poste
17.	NZEKON NZEKO'O Armel Jacques	Chargé de Cours	En poste
18.	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Directeur Adjoint ENSET Ebolowa</i>
19.	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
20.	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
21.	MAKEMBE. S. Oswald	Assistant	<i>Directeur CUTI</i>
22.	MAXWELL NDOGNKON MANGA	Assistant	En poste
23.	NDOM Francis Rollin	Assistant	En poste
24.	NGUIMEYA TSOFAK Baudoin	Assistant	En poste
24.	NKONDOCK. MI BAHANACK. N.	Assistant	En poste

#### **8- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (34)**

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Chef de Département/D. ENSPY</i>
2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	<i>Chef de Division/ENSPY</i>
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>VDRC/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.	BITYE MVONDO Esther	Chargé de Cours	En poste
13.	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste

14.	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
15.	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
16.	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17.	KOKOMO AYISSI Eric Brice	Chargé de Cours	En poste (transfert de l'université de Douala)
18.	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste
19.	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
20.	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
21.	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
22.	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
23.	NGUEFACK Bertrand	Chargé de Cours	En poste
24.	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
25.	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste
26.	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>
27.	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Chargé de Cours	En poste
28.	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
29.	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste
30.	EBODE ATANGANA Pie Désiré	Assistant	En poste
31.	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
32.	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
33.	MAMA ASSANDJE Prosper	Assistant	En poste
34.	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
35.	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
36.	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistant	En poste

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

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	KOITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Professeure	En poste
3.	MUNE MUNE Martin Alain	Professeur	En poste
4.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeure	<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 de Service de la Scolarité</i>
11.	EHETH Jean Samuel	Chargé de Cours	En poste
12.	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
13.	EZO'O MENGOU Fabrice Téléfor	Chargé de Cours	En poste
14.	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste
15.	MEYIN A EBONG Solange	Chargée de Cours	En poste
16.	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargée de Cours	<i>Cheffe de service/DAAC/UII</i>
17.	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
18.	NKOUÉ TONG Abraham	Chargé de Cours	En poste
19.	NGOUE NAM Romial Joël	Chargé de Cours	En poste
20.	NJAPNDOUNKE Bilkissou	Chargé de Cours	En poste
21.	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargée de Cours	En poste
22.	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Chargée de Cours	En poste
23.	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste
24.	ZO'O EZO'O Fabrice Téléfor	Assistant	En poste
25.	MAYI Marie Paule Audrey	Assistante	En poste

#### 10. DEPARTEMENT DE PHYSIQUE (PHY) (45)

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	BIYA MOTTO Frédéric	Professeur	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
3.	DJUIDJE KENMOE ép. ALOYEM	Professeur	En poste
4.	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. Uté Ngaoundéré</i>
5.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
6.	EYEBE FOU DA Jean sire	Professeur	En poste
7.	FEWO Serge Ibraïd	Professeur	En poste
8.	HONA Jacques	Professeur	En poste
9.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
10.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	<i>Chef de Département/Uni. Bertoua</i>
11.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
12.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
13.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
14.	SIEWE SIEWE Martin	Professeur	En poste
15.	SIMO Elie	Professeur	En poste
16.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FS/Univ/Bda</i>
17.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
18.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
19.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste

20.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Professeur	En poste
21.	ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA	Maître de Conférences	<i>Cheffe de Div./ENSPY</i>
22.	FOUEJIO David	Maître de Conférences	<i>Chef Cell/MINADER</i>
23.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
25.	MELI'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
26.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
27.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
28.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>Secrétaire Générale /UYII</i>
29.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférences	<i>Absente de son poste</i>
30.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
32.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
33.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
34.	EDONGUE Hervais	Chargé de Cours	En poste
35.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
36.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
37.	NGA ONGODO Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
38.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	Chef de Div./DIPD/UYI
39.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Chargé de Cours	En poste
40.	TCHAPET NJAFA Jean-Pierre	Chargé de Cours	Chef Ser. Adj./FLASH/UYI
41.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
42.	TOGUEU MOTCHEYO Alain Bertrand	Chargé de Cours	En poste
43.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste
44.	ETEME Armand Sylvain	Assistant	En poste
45.	NGO MOUELLAS épouse LOTHIN	Assistante	En poste
46.	TCHODIMOU Carole	Assistant	En poste
47.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

### 11- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (34)

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>Vice-Doyen /DPSAA</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(ai)</i>
14.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Maitre de Conférences	En poste
15.	MBIDA YEM	Maître de Conférences	En poste
16.	MBESSE Cécile Olive	Maitre de Conférences	En poste
17.	METANG Victor	Maître de Conférences	En poste
18.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste
19.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
20.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Maître de Conférences	En poste
21.	TCHAKOUNTE Jacqueline épse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cell /MINRESI</i>
22.	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Maître de Conférences	En poste
23.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
24.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
25.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
26.	KOAH NA LEBOGO Serge P.	Chargé de Cours	En poste
27.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
28.	NGO'O ZE ARNAUD	Chargé de Cours	En poste
29.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
30.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
31.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Chargée de Cours	En poste
32.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
33.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste

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

<b>NOMBRE D'ENSEIGNANTS</b>					
<b>DÉPARTEMENT</b>	<b>Professeurs</b>	<b>Maîtres de Conférences</b>	<b>Chargés de Cours</b>	<b>Assistants</b>	<b>Total</b>
BCH	08 (01)	25 (15)	11 (05)	00 (00)	<b>44 (21)</b>
BPA	12 (02)	18 (06)	16 (06)	01 (01)	<b>47 (15)</b>
BPV	08 (02)	10 (03)	14 (06)	06 (03)	<b>39 (14)</b>
CI	06 (01)	14 (02)	05 (01)	03 (01)	<b>28 (05)</b>
CO	06 (01)	14 (05)	12 (03)	02 (00)	<b>33 (09)</b>
ER	01 (00)	/	/	/	<b>01 (0)</b>
IN	03 (00)	03 (00)	13 (01)	06 (00)	<b>24 (01)</b>
MAT	01 (00)	08 (00)	20 (01)	07 (01)	<b>36 (02)</b>
MIB	05 (03)	05 (01)	13 (06)	01 (01)	<b>24 (11)</b>
PHY	17 (01)	11 (04)	15 (01)	04 (02)	<b>45 (08)</b>
ST	10 (00)	14 (05)	09 (02)	00 (00)	<b>33 (07)</b>
<b>Total</b>	<b>67 (11)</b>	<b>122 (41)</b>	<b>128 (32)</b>	<b>30 (09)</b>	<b>342 (88)</b>

Soit un total de

**360 (94)** dont :

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

( ) = Nombre de Femmes

**94**

## **DEDICACE**

A mon feu père, Sa Majesté EPOUNDE Jacques

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Jéhovah-Jireh, le Dieu pourvoyeur qui a mobilisé toutes les ressources nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

J'ai également le plaisir de témoigner ma reconnaissance au Professeur FOTO MENBOHAN Samuel qui a dirigé ce travail. Il a toujours été disponible et m'a soutenue de façon multidimensionnelle pour l'aboutissement de cette œuvre, merci infiniment Professeur.

Je remercie tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I pour la formation, les conseils et l'encadrement tout au long de mon parcours académique. Je pense aux Professeurs BILONG BILONG Charles Félix, FOMENA Abraham, NOLA Moïse, DJIÉTO-LORDON Champlain, AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, ZÉBAZÉ TOGOUET Serges Hubert, TAN Paul, DIMO Théophile, MIMPFONDI Rémy, NJIOKOU Flobert, ESSOMBA née NTSAMA MBALA Claudine, TOMBI Jeannette, NGASSAM Pierre, KEKEUNOU Sévilor, MEGNEKOU Rosette, NOAH EWOTI Vivien, MOUNGANG Luciane Marlyse et TAMSA ARFAO Antoine. J'exprime également ma reconnaissance au Maître de Recherche NKENGAZONG Lucia et aux Docteurs MOANONO Patrick Georges, NWAHA Mathias, ASI Quiggle ATUD et MBOUOMBOUO MAMA pour les conseils et les encouragements durant la réalisation de ce travail.

Je témoigne toute ma sympathie et ma reconnaissance à mes aînés de Laboratoire et à toute l'équipe des « Fotozoaires » sans qui ce travail n'aurait jamais abouti. Je n'oublie pas la société AQUAFRIK qui m'a fourni les réactifs pour les analyses physico-chimiques.

Je remercie les grandes familles EBANG et ETCHOME pour leur soutien affectif et moral. Elles m'ont vue naître et m'ont fait croître, merci infiniment pour tout. Je remercie ma tendre Maman, Mme EPOUNDE Charlotte ainsi que mes frères et sœurs. Vous êtes ma source de motivation.

Je témoigne ma gratitude à M. BEDIANG Cyrille pour l'affection et l'indéfectible soutien qu'il a toujours su me témoigner.

J'ai une pensée très affectueuse pour mes amis ANKOUANE Firmin, DJAMEN Stella, EB AIR Augustin, EKANGO Solange, FOGAING Dupleix, KWEDI Elodie, MAGSABOR Angelo, NIMPA Achille, NIMPA Adèle, NGO BAHÉL Maximilienne, NOUTCHOMWA Christelle et Pierre-luc DESSULREAUT. Merci pour votre amitié et votre sympathie. Je vous porte dans mon cœur.

J'adresse enfin mes remerciements à toutes ces personnes qui ont œuvré à l'aboutissement de ce travail et dont les noms n'ont pas été cités ici.

## SOMMAIRE

DEDICACE.....	xiii
REMERCIEMENTS .....	xiv
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES .....	xvii
LISTE DES FIGURES .....	xviii
LISTE DES TABLEAUX.....	xxii
LISTE DES ANNEXES .....	xxiii
RESUME.....	xxiv
ABSTRACT .....	xxvi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	5
I.1. GENERALITES SUR LES ECOSYSTEMES DE BAS-FONDS.....	6
I.1.1. Notion de bas-fonds.....	6
I.1.2. Services écosystémiques et fonctions des bas-fonds.....	6
I.1.3. Mouvements d'eau dans les bas-fonds .....	7
I.1.4. Menaces et pressions subies par les bas-fonds .....	8
I.1.5. Intérêt des bas-fonds en agriculture .....	9
I.1.6. Bas-fonds et urbanisation .....	10
I.1.7. Protection des bas-fonds : la convention de Ramsar .....	11
I.1.8. Cartographie des bas-fonds dans la ville de Yaoundé.....	11
I.2. CARACTERISATION DES EAUX.....	14
I.2.1. Caractérisation physico-chimique .....	14
I.2.2. Caractérisation biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques.....	17
I.3. ÉTHO-ÉCOLOGIE DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES .....	24
I.4. EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX .....	25
I.4.1. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau .....	26
I.4.2. Evaluation de la qualité biologique de l'eau.....	26
I.5. INNOVATION DANS LA SURVEILLANCE DE LA BIODIVERSITE	
AQUATIQUE : LE METABARCODING.....	27
I.6. PARTICULARITE SUR LES MACROINVERTEBRES DU CAMEROUN .....	27
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	31
II.1. MATERIEL .....	32
II.1.1. Présentation du site d'étude.....	32

II.1.2. Description des sites d'étude et des stations d'échantillonnage.....	34
II.2. METHODES.....	39
II.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	39
II.2.2. Echantillonnage et identification des macroinvertébrés benthiques .....	42
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....	49
III.1. RESULTATS.....	50
III.1.1. Variables physico-chimiques .....	50
III.1.2. Caractérisation physico-chimique des stations .....	66
III.1.3. Macroinvertébrés benthiques .....	69
III.1.4. Indices biocénotiques.....	96
III.1.5. Caractérisation biologique des différents hydrosystèmes.....	99
III.1.6. Description des taxons prédominants .....	116
III.2. DISCUSSION .....	123
III.2.1. Variables physicochimiques .....	123
III.2.2. Variables biologiques.....	127
III.2.3. Indices biocénotiques.....	133
III.2.4. Caractérisation biologique .....	134
III.2.5. Morphométrie des taxons prédominants.....	136
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS .....	138
ET PERSPECTIVES.....	138
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	143
ANNEXES .....	161

## LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES

ACH : Analyse de Classification Hiérarchique

ACP : Analyse en Composantes Principales

AE : Agence de l'eau

APHA : *American Public Health Association*

CICES : *Common International Classification of Ecosystem Service*

EPA : *Environmental Protection Agency*

FTU : *Formazin Turbidity Unit*

GPS : *Global Positioning System*

IndVal : *Individual Value*

IPO : Indice de Pollution Organique

MES : Matières En Suspension

MIB : Macroinvertébrés Benthiques

PADFA II : Projet d'appui au développement des filières agricoles phase II

Pt-Co : Platini-um-Cobalt

SOM : *Self-Organizing Map*

SPSS : *Statistical Package for Social Science*

TDS : *Total Dissolved Solids*

UC : Unité Conventi-onnaelle

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pressions et menaces subies par les bas-fonds .....	8
Figure 2 : Carte de quelques bas-fonds de la ville de Yaoundé .....	13
Figure 3 : Photos de quelques Annélides d'eau douce.....	20
Figure 4 : Photos de quelques Mollusques d'eau douce. ....	21
Figure 5 : Photos de quelques Crustacés.....	22
Figure 6 : Photos de quelques Insectes.....	23
Figure 7 : Carte hydrographique de la zone d'étude montrant les stations d'échantillonnage.....	33
Figure 8 : Vue partielle des stations d'échantillonnage .....	38
Figure 9 : Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice (SOM).....	47
Figure 10 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la température des eaux pendant la période d'étude.....	51
Figure 11 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) du pH des eaux pendant la période d'étude .....	52
Figure 12 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la conductivité électrique des eaux pendant la période d'étude .....	53
Figure 13 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en matières en suspension des eaux pendant la période d'étude .....	54
Figure 14 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en oxygène dissous des eaux pendant la période d'étude .....	55
Figure 15 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en gaz carbonique dissous des eaux pendant la période d'étude .....	56
Figure 16 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en azote ammoniacal des eaux pendant la période d'étude.....	57
Figure 17 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en nitrates des eaux pendant la période d'étude.....	58
Figure 18 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en nitrites des eaux pendant la période d'étude.....	59
Figure 19 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en orthophosphates des eaux pendant la période d'étude.....	60

Figure 20 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de l'oxydabilité des eaux pendant la période d'étude .....	61
Figure 21 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de l'alcalinité des eaux pendant la période d'étude.....	62
Figure 22 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la turbidité des eaux pendant la période d'étude. ....	63
Figure 23 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la couleur des eaux pendant la période d'étude.....	64
Figure 24 : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la dureté calcique des eaux pendant la période d'étude .....	65
Figure 25 : Variation spatiale (A) et saisonnière (B) des valeurs de l'IPO pendant la période d'étude. ....	66
Figure 26 : ACH des stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico- chimiques pendant la période d'étude; les chiffres I, II et III désignent les groupes constitués. ....	67
Figure 27 : Analyse en Composantes Principales des variables physico-chimiques des différentes stations. ....	68
Figure 28 : Abondance relative des embranchements de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude .....	69
Figure 29 : Abondance relative des classes de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude. ....	70
Figure 30 : Abondance relative des ordres de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude .....	71
Figure 31 : Abondance relative des principales familles de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude.....	72
Figure 32 : Abondance relative saisonnière des MIB pendant la période d'étude.....	72
Figure 33 : Abondance relative des classes de MIB à chaque saison pendant la période d'étude .....	74
Figure 34 : Abondance relative des ordres de MIB à chaque saison pendant la période d'étude .....	75
Figure 35 : Abondance relative des MIB dans les différents sites pendant la période d'étude .....	76
Figure 36 : Abondance relative des embranchements dans chaque site pendant la période d'étude .....	77

Figure 37 : Abondance des classes de MIB dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude .....	78
Figure 38 : Abondance des ordres de MIB dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude .....	79
Figure 39 : Abondance relative des ordres de MIB par famille dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude.....	79
Figure 40 : Abondance des familles de MIB dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude .....	80
Figure 41 : Abondance des classes de MIB dans le site de Ngoa-ékelle pendant la période d’étude .....	84
Figure 42 : Abondance des ordres de MIB dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d’étude .....	85
Figure 43 : Abondance relative des familles par ordre dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d’étude.....	85
Figure 44 : Abondance des familles dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d’étude .....	86
Figure 45 : Abondance des classes de MIB dans le site d’Ahala pendant la période d’étude .....	89
Figure 46 : Abondance des ordres de MIB dans le site d’Ahala pendant la période d’étude .....	90
Figure 47 : Abondance relative des familles par ordre dans le site d’Ahala pendant la période d’étude .....	90
Figure 48 : Abondance des familles de MIB dans le site d’Ahala pendant la période d’étude .....	91
Figure 49 : Abondance relative des familles suivant la fréquence d’occurrence.....	94
Figure 50 : Abondance relative des familles suivant la fréquence d’occurrence pendant la période d’étude .....	95
Figure 51 : Variation spatiale (A) et saisonnière (B) de l’indice de diversité de Shannon et Weaver pendant la période d’étude.....	97
Figure 52 : Variation spatiale (A) et saisonnière (B) de l’indice de Piélou pendant la période d’étude .....	98
Figure 53 : Analyse en Composantes Principales effectuée à partir les familles des macroinvertébrés benthiques .....	100

Figure 54 : Hiérarchisation des stations d'échantillonnage à partir des données faunistiques des macroinvertébrés benthiques obtenus pendant la période d'étude. ....	101
Figure 55 : Classification hiérarchique des cellules de la SOM par la méthode de Ward .....	102
Figure 56 : Distribution des échantillons sur la carte SOM à partir de la matrice d'abondance des spécimens de macroinvertébrés benthiques. ....	103
Figure 57a : Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance .....	104
Figure 57b : Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance .....	105
Figure 57c : Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance .....	106
Figure 57d : Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance .....	107
Figure 58: Variation des abondances (A) et richesse spécifique relative (B) des différents groupes trophiques. ....	116
Figure 59 : <i>Appasus</i> sp. ....	116
Figure 60 : <i>Nepa</i> sp. ....	117
Figure 61 : Chironomini nd.....	118
Figure 62 : Ceratopogonidae nd .....	119
Figure 63 : <i>Chaetarthria</i> sp. ....	119
Figure 64 : <i>Coenagrion pro parte</i> .....	120
Figure 65 : <i>Physa</i> sp. ....	121
Figure 66 : <i>Melanoides manguensis</i> .....	122

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Limites des classes de l'IPO et interprétation de la moyenne des classes. ....	43
Tableau II : Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site d'Ezazou pendant la période d'étude .....	81
Tableau III : Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d'étude .....	87
Tableau IV : Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site d'Ahala pendant la période d'étude .....	92
Tableau V : Repartition des familles suivant la fréquence d'occurrence .....	95
Tableau VI : Indice de similarité de Sorensen (%) entre les macroinvertébrés benthiques aux différentes stations d'échantillonnage .....	99
Tableau VII: Valeur indicatrice (IndVal) des taxons par groupe .....	112
Tableau VIII : Valeur indicatrice (IndVal) des taxons par combinaison de groupes.....	113

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Valeur maximale, minimale, moyenne et écart-type des paramètres physico-chimiques mesurés pendant la période d'étude.....	162
Annexe 2 : Inventaire floristique des stations d'échantillonnage.....	163
Annexe 3 : Récapitulatif des corrélations.....	164

## RESUME

Une étude visant à déterminer la diversité et la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques a été menée dans la ville de Yaoundé de Juillet 2019 à Juillet 2020. Cette étude s'est déroulée dans trois zones inondables (Ezazou, Ngoa-ékellé et Ahala) pour un total de 12 stations d'échantillonnage. Les analyses physico-chimiques ont été faites suivant les méthodes standards et selon une fréquence mensuelle. L'échantillonnage des macroinvertébrés a été fait suivant l'approche multi-habitat en utilisant un troubleau de forme carrée de 30 cm de côté, muni d'un filet conique de 400  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille et de 50 cm de profondeur. A chaque station, une vingtaine de traits est réalisée sur une surface d'environ 3 m<sup>2</sup>. Les coups de filet sont effectués dans tous les microhabitats. Les organismes retenus par les mailles du filet sont collectés à l'aide de pinces fines, puis introduits délicatement dans des piluliers contenant une solution de formol 10%. Au laboratoire, les organismes ont été correctement rincés puis identifiés en se servant des clés et ouvrages d'identification appropriés. Après les identifications, ces organismes ont été réintroduits dans les piluliers contenant de l'alcool 70°. Les résultats des analyses physico-chimiques révèlent que les eaux sont acides à neutres, faiblement minéralisées et moyennement oxygénées. Elles sont également assez chargées en matières azotées avec des valeurs assez élevées d'indicateurs de pollution organique. Ainsi donc, sur le plan physico-chimique, les eaux de ces différents hydrosystèmes sont de mauvaise qualité écologique. Sur le plan biologique, un total de 17158 macroinvertébrés benthiques a été identifié et dénombré, réparti en 3 Embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 6 Classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 15 Ordres et 65 familles. En termes d'abondance, l'embranchement des Arthropodes domine avec 14 491 individus, soit 84,46 % d'abondance relative, suivi des Mollusques avec 1725 individus, soit 10,05 % d'abondance relative et des Annélides avec 942 individus, soit 5,49 % d'abondance relative. Concernant les classes, celle des Insectes est la plus dominante avec 14 472 individus (soit 84,34% d'abondance relative) suivie de la classe des Gastéropodes avec 1543 individus (soit 9% d'abondance relative). La classe des Crustacés est la moins fournie avec uniquement 19 individus (soit 0,11% d'abondance relative). Pour les sites, celui d'Ezazou a été le plus prolifique avec un total de 8790 organismes (soit 51,23% d'abondance relative), suivi de celui d'Ahala avec 5547 organismes (soit 32,33% d'abondance relative) et enfin celui de Ngoa-ékellé avec 2821 organismes (soit 16,44% d'abondance relative). Les indices de diversité de Shannon et Weaver et d'Equitabilité de Piéluou révèlent que le peuplement de macroinvertébrés benthiques est peu diversifié et réparti inégalement dans l'ensemble des sites. L'Analyse en

Composantes Principales (ACP) et la Self-Organizing Map (SOM) montrent que les 12 stations d'échantillonnage peuvent être regroupées en 4 groupes sur la base de leur composition taxonomique. Le test de corrélation  $r$  de Spearman a permis de mettre en évidence les paramètres environnementaux qui influencent la distribution des macroinvertébrés benthiques dans les différents hydrosystèmes. La méthode Indicator Value (Ind Val) appliquée aux organismes biologiques sur la base des groupes issus de l'analyse SOM a révélé 31 taxons indicateurs significatifs parmi lesquels *Physa* sp, *Chironomus* sp, *Coenagrion pro parte*, *Orthetrum* sp, Chironomini nd et *Appasus* sp peuvent être considérés comme les meilleurs bioindicateurs des milieux qu'ils caractérisent. Pour ce qui est des groupes trophiques, les filtreurs dominent le peuplement en termes d'abondance relative, mais les prédateurs ont la prééminence spécifique.

**Mots clés :** Macroinvertébrés benthiques, Yaoundé, zones inondables, qualité écologique, paramètres environnementaux, bioindicateurs.

## ABSTRACT

A study aimed at collecting data on the diversity of benthic macroinvertebrates has been carried out in Yaounde. Ranging from July 2019 to July 2020, the study focused on 3 low-land (Ezazou, Ngoa-ékellé and Ahala) for a total of 12 sampling stations. The physicochemical analysis was carried out by standard methods on a monthly basis. The collection of benthic macroinvertebrates has been done following the multihabitat approach. Sampling of benthic macroinvertebrates was carried out on a monthly basis, using a square-shaped trout measuring 30 cm on a side, fitted with a conical net with a mesh opening of 400  $\mu\text{m}$  and a depth of 50 cm. At each study station, around twenty blows were carried out for an area of approximately 3  $\text{m}^2$ . The troubleshootings were carried out in different microhabitats. The organisms retained by the mesh of the net were collected using a pair of fine forceps, fixed in 10 % formalin and stored in a pillbox. Back in the laboratory, the macroinvertebrates samples were rinsed thoroughly and identified using the identification keys. The results of the physicochemical analysis reveal that the water are low acidic, not very mineralized with satisfactory oxygenation. They are also high in nitrogenous matter with high values of organic pollution indicators. These results allow to say that on the physicochemical level, the water of the 3 lowlands are of poor ecological quality. In biological terms, a total of 17158 benthic macroinvertebrates have been identified and counted, divided into 3 phyla (Arthropods, Molluscs and Annelids), 6 classes (Insects, Crustaceans, Oligochaetes, Achaetes, Gastropods and Bivalves), 15 orders and 66 families. Arthropods dominated with 14 491 individuals which represent 84,46% relative abundance, followed by Molluscs with 1725 individuals (10,05% relative abundance) and Annelids with 942 individuals (5,45% relative abundance). Concerning classes, Insects dominated with 14 472 individuals (84,34% relative abundance) followed by Gastropods with 1543 individuals (9 % relative abundance). Crustaceans is the least with only 19 individuals (0,11% relative abundance). Talking about sites, Ezazou has been the most prolific with 8790 organisms (51,23% relative abundance), followed by Ahala with 5547 organisms (32,33% relative abundance) and finally Ngoa-ekelle with 2821 organisms (16,44% relative abundance). The diversity indices of Shannon & Weaver and the Equitability of Piélou reveal that the diversity is low and the population of macroinvertebrate is not equitably distributed in all the sites. The biological characterisation carried out from the Principal Component Analysis (PCA) and the Self-Organizing Map (SOM) shows that the 12 stations can be grouped, on the basis of their organisms, into 4 groups. Spearman's  $r$  correlation test allows us to highlight the environmental parameters that influence the distribution of benthic macroinvertebrate in the different sites.

The indicator value (IndVal) analysis method allowed us to identify 31 significant indicators taxa among which *Physa* sp, *Chironomus* sp, *Coenagrion pro parte*, *Orthetrum* sp, Chironomini and *Appasus* sp can be considered as the best indicators of environmental conditions. Trophically, filter feeders dominated the benthic macroinvertebrate population in relative abundance but in terms of taxonomic richness, predators are the most diverse.

**Keywords:** Benthic macroinvertebrates, Yaounde, lowland, ecological quality, environmental parameters, indicators taxa.

## **INTRODUCTION**

L'eau est une ressource limitée dont l'utilisation doit être optimisée avec des efforts dans le sens de l'amélioration de la gouvernance. En effet, une bonne gestion de l'eau promeut les progrès économique et social (Bartholomee *et al.*, 2018). Dans de nombreux pays, la prospérité résulte des investissements significatifs en termes d'infrastructures hydrauliques, d'institutions en charge des questions de l'eau et de bonne gestion des ressources en eau car l'eau est le fondement de quasiment toutes les activités économiques depuis la production alimentaire jusqu'à l'industrie, en passant par la production énergétique et le transport. En outre, l'atteinte des objectifs de développement durable dépend dans une large mesure des ressources en eau (IUCN, 2021).

Le Cameroun n'échappe pas à cette réalité. En effet, la croissance démographique des grandes métropoles due à un accroissement naturel de la population et l'exode rural massif ont entraîné l'occupation anarchique de l'espace urbain et une forte pression sur les ressources hydriques (Kamdem & Roméo, 2023). Tout ceci associé à l'augmentation de la pauvreté aboutit à une forte colonisation des zones telles que les bas-fonds et les berges des cours d'eau urbains, pourtant classées interdits d'accès (Mediebou, 2023).

La mauvaise gestion des déchets qui découlent des activités humaines provoque la dégradation de la qualité l'eau et de l'habitat ainsi qu'une altération de la composition des communautés biologiques (Sanogo *et al.*, 2021), plus particulièrement la réduction de la diversité biologique de l'écosystème aquatique bien que ces eaux soient parfois utilisées dans le maraîchage et les activités domestiques diverses.

Pour évaluer la santé des milieux aquatiques, l'approche utilisée depuis des décennies reposait sur la mesure de certains paramètres physicochimiques et la concentration de certains polluants. Cependant, cette approche s'est avérée limitée (Kengne, 2018) car elle ne renseignait que sur l'état ponctuel de la qualité sans intégrer les facteurs clés tels que la qualité de l'habitat, les substances présentes à des concentrations inférieures aux limites de détection des méthodes analytiques et les effets synergiques, additifs ou antagonistes des différents polluants sur les organismes aquatiques. Pour la parfaire, la surveillance biologique y a été associée permettant ainsi un meilleur diagnostic (Villeneuve *et al.*, 2021). Le caractère bioindicateur des organismes aquatiques a été mieux exploré sous-entendant que ces organismes pourraient bien renseigner sur l'état de santé des hydrosystèmes.

En effet, les macroinvertébrés benthiques (MIB) sont le groupe le plus indiqué (Moisan, 2010), leur choix se justifiant par leur sédentarité, leur cycle de vie varié, leur grande diversité taxonomique, leur pouvoir de bioaccumulation et de bioamplification et surtout leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (Tachet *et al.*, 2010).

En outre, les macroinvertébrés benthiques sont rémanents et intégrateurs de conditions physico-chimiques. A ce titre, ils peuvent témoigner d'une pollution plus ou moins ancienne, toxique, ponctuelle ou diffuse. D'autre part, ils sont présents à différents niveaux du réseau trophique, relativement faciles à échantillonner et à conserver, et leur prélèvement a peu d'effets sur la biocénose restante (Moisan & Pelletier, 2008). Cette aptitude à intégrer ainsi les effets cumulatifs et synergiques des perturbations d'ordres divers avec subtilité fait d'eux, des outils de choix pour évaluer la qualité des eaux (Tachet *et al.*, 2010).

Au Cameroun, plusieurs études ont été menées sur la macrofaune benthique. Les travaux de Biram à Ngon *et al.* (2018) réalisés dans des cours d'eau peu anthropisés de la région du Centre ont montré la très grande diversité et l'intégrité de la macrofaune benthique. Par contre, les études conduites dans les cours d'eau urbains (Ajeegah *et al.*, 2016) ont révélé la très mauvaise qualité physicochimique des eaux liée à une pollution essentiellement organique, et la faible diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques avec prédominance des taxa tolérants à la pollution organique.

Plusieurs autres travaux sur les macroinvertébrés benthiques ont été réalisés au Cameroun mais de ces nombreux travaux, les bas-fonds ont été très peu abordés. Il s'agit entre autres des travaux de Ajeegah *et al.* (2014) dans l'étang d'Obili, de Biram à Ngon (2019) dans le bassin versant de la Mefou, de Moanono (2022) dans les mangroves de la côte du Littoral Camerounais, de Boudem (2023) dans les cours d'eau Lobo, Dja et du lac de barrage de Mekin et de Nwaha (2023) dans quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun.

Ainsi donc, il existe très peu de données relatives à l'écologie et à la structure des macroinvertébrés peuplant les bas-fonds de Yaoundé. Aussi, l'influence de l'activité anthropique et des facteurs physico-chimiques sur la diversité et la structure spatio-temporelle de ce groupe d'organismes dans les bas-fonds reste à déterminer.

C'est pour pallier à ce déficit d'informations que la présente étude a été entreprise avec pour objectif principal de déterminer la diversité du peuplement des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de quelques bas-fonds de la ville Yaoundé, en relation avec la physicochimie. Les objectifs spécifiques consistent à :

- déterminer les variations spatio-temporelles des paramètres physicochimiques ;
- décrire la structure du peuplement de macroinvertébrés qui colonisent ces milieux aquatiques;

- évaluer l'impact des facteurs environnementaux sur la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres dont le premier est consacré à la revue de la littérature, le deuxième au matériel et méthodes utilisés et le troisième aux résultats obtenus et la discussion qui en découle. Il s'en suit enfin une conclusion, des recommandations et des perspectives.

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

## **I.1. GENERALITES SUR LES ECOSYSTEMES DE BAS-FONDS**

### **I.1.1. Notion de bas-fonds**

A l'origine, les bas-fonds désignent les endroits de la mer où il y'a peu d'eau et où la sonde rencontre promptement le fond mais sur lequel la navigation est possible contrairement au haut-fond (Kouyaté *et al.*, 2022). En milieu terrestre, le bas-fond renvoie à un fond de vallée, c'est à dire un terrain plus bas ou plus enfoncé que les terrains environnants et généralement plus humide voire marécageux. Il s'agit donc des zones humides dans lesquelles l'eau représente le principal facteur d'influence de la faune, de la flore et de l'habitat.

Pour repérer un bas-fond, on peut se servir d'un certain nombre de critères qui sont d'ordre botanique et pédologique (Couderchet *et al.*, 2022). Parlant des critères botaniques, les bas-fonds peuvent être repérables par une végétation caractéristique ou par certaines espèces indicatrices. C'est le cas de la France qui a établi la liste nationale des habitats « Corine BIOTOPES » et la liste nationale des espèces végétales indicatrices des zones humides. Concernant les critères pédologiques, trois grands types de sols caractéristiques des zones humides peuvent être repérées dans les 50 premiers centimètres : les sols rédoxiques (pseudogley), les sols réductiques (gley) et les sols tourbeux (Ichen *et al.*, 2021). Pour les autres sols (alluviaux, calcaires ou sableux) développés dans les matériaux très pauvres en fer ou ne subissant pas de phénomènes réductiques, une expertise supplémentaire est nécessaire pour apprécier la saturation prolongée par l'eau.

### **I.1.2. Services écosystémiques et fonctions des bas-fonds**

Les bas-fonds sont des infrastructures naturelles qui rendent plusieurs services écosystémiques. Selon la classification européenne Common International Classification of Ecosystem Service (CICES), ces services écosystémiques peuvent être regroupés en trois grandes catégories à savoir : les services d'approvisionnement en matières premières et ressources alimentaires, les services culturels et sociaux et les services de régulation. En effet, Requier *et al.*, (2021) affirment que ces zones assurent de nombreuses fonctions qui sont entre autres : les fonctions hydrologiques (recharge des Aquifères, filtration et épuration des eaux, contrôle des inondations) ; les fonctions biologiques (réservoirs importants de biodiversité à la fois floristique et faunistique) et les fonctions socioéconomiques (eau potable, eau pour l'industrie et l'agriculture, éléments minéraux, ressources halieutiques, pastorales...).

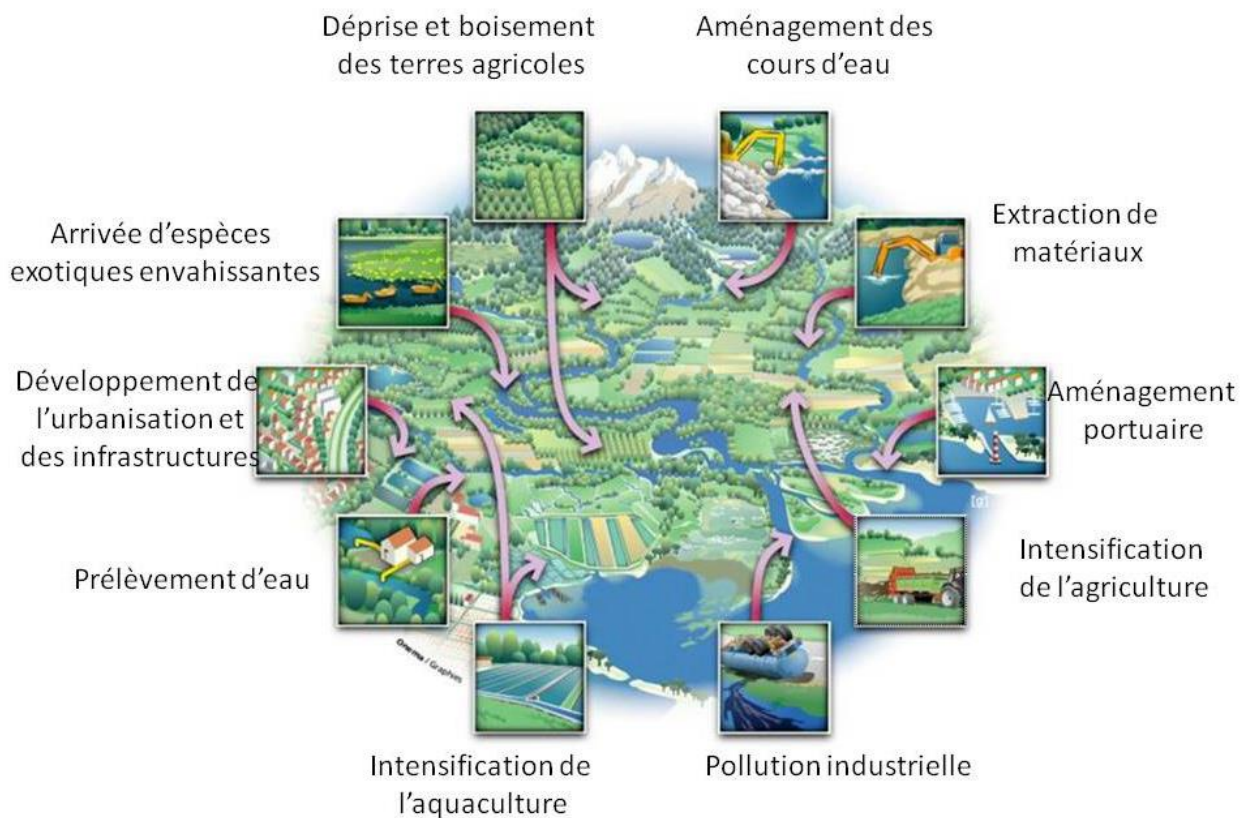
### I.1.3. Mouvements d'eau dans les bas-fonds

Le fonctionnement hydraulique des bas-fonds dépend de plusieurs paramètres tels que : le climat, la structure du paysage et du relief, la végétation, la taille et la forme du bassin versant et du bas-fond (Kolka *et al.*, 2016). Les mouvements d'eau dans les bas-fonds sont assez complexes. En effet, l'alimentation en eau peut se faire par les pluies, les écoulements épidermiques, le ruissellement, les nappes phréatiques ou d'altérites qui affleurent une partie de l'année, les remontées capillaires, etc. Concernant les écoulements d'eau, ils peuvent être superficiels ou hypodermiques. Ainsi donc, le flux d'alimentation et le flux d'écoulement ont chacun sa dynamique propre d'où la complexité du fonctionnement hydraulique du bas-fond (Kono *et al.*, 2020).

L'hydromorphie temporaire ou permanente des bas-fonds peut soumettre leurs sols à un intense lessivage vertical ou longitudinal aboutissant à des horizons de sables ou d'argiles blanches totalement lessivés en dessous de l'horizon de surface. L'hydromorphie bloque l'évolution de la matière organique qui s'accumule en surface sous une forme plus ou moins décomposée, pouvant entraîner un blocage plus ou moins complet des processus biologiques (Trevisan *et al.*, 2022). Pour les bas-fonds à hydromorphie temporaire, la submersion crée des conditions anaérobies entraînant des réactions de réduction et inversement l'exondation recrée des conditions aérobies. En effet, pendant la submersion, les composés minéraux sont réduits avec consommation des ions  $H^+$  d'où une hausse du pH. Les ions  $Fe^{3+}$  insolubles sont réduits en ions  $Fe^{2+}$  solubles qui peuvent par la suite être recomplexés avec les acides humiques et au-delà d'une certaine concentration ( $> 300$  ppm), ces ions  $Fe^{2+}$  peuvent provoquer des toxicités ferreuses sur les cultures maraîchères. Par contre, pendant l'exondation, l'aération du sol stimule les microorganismes et provoque une reprise de la minéralisation de la matière organique. La réoxydation libère les ions  $H^+$  et fait chuter le pH et cette acidification du milieu peut bloquer la reprise de la minéralisation. Dans ces conditions acides, l'aluminium devient soluble et peut entraîner des toxicités aluminiques à partir des valeurs de pH égales à 5 (Mullele *et al.*, 2018).

#### I.1.4. Menaces et pressions subies par les bas-fonds

En dépit des multiples intérêts des bas-fonds, ces habitats naturels sont l'un des écosystèmes les plus menacés de la planète (Micheau *et al.*, 2023) et ils connaissent une forte régression depuis plusieurs décennies sous l'effet des agressions multiples (Figure 1). En effet, les bas-fonds subissent des pressions anthropiques croissantes qui s'expriment en termes d'urbanisation, d'installation humaine, d'insécurité foncière, d'exploitation de bois, d'intensification et d'extension de l'agriculture, de drainage, de construction de barrages, de pollution, de pâturage (Figure 1). Tout ceci occasionne des modifications de la faune et de la flore, la perturbation de la biodiversité, la diminution des superficies, l'émission des gaz à effet de serre, la pollution atmosphérique, etc.



**Figure 1 :** Pressions et menaces subies par les bas-fonds (source : « Guide technique d'inventaire des zones humides » -Conseil Général 56, Forum des Marais Atlantiques, 2017)

### **I.1.5. Intérêt des bas-fonds en agriculture**

L'attrait pour les bas-fonds en agriculture pourrait s'expliquer par le fait qu'ils possèdent de l'eau en permanence et l'agriculture nécessite un apport régulier en eau pour l'arrosage des cultures (Tangmouo *et al.*, 2025). Cet état de choses fait malheureusement des bas-fonds, un enjeu pour le développement durable de l'agriculture en tant que structure dont la mise en valeur devient une nécessité pour l'émancipation agricole (Ndam *et al.*, 2023). C'est pourquoi, dans de nombreux pays africains, plusieurs projets de sécurité alimentaire par l'aménagement des bas-fonds ont été mis en place en vue de contribuer à l'autosuffisance et la sécurité alimentaire des populations rurales pauvres.

C'est ainsi qu'au Bénin, des milliers d'hectares de bas-fonds ont été aménagés et mis en valeur pour le maraîchage (Yanogo *et al.*, 2023). Au Burkina Faso, depuis les sècheresses des années 1970 et 1980, les acteurs du développement ont promu l'aménagement des bas-fonds en vue de sécuriser l'alimentation des villes (Maiga *et al.*, 2023). Du côté du Libéria, les bas-fonds sont exploités en agriculture car ils auraient un potentiel de rendement de riz supérieur de 80-90% à ceux des plateaux ; en effet, selon l'Institut Central de Recherche Agricole du Libéria, l'utilisation des bas-fonds permet d'obtenir non seulement de meilleurs rendements, mais aussi de limiter la déforestation et l'érosion des sols. En outre, dans ces zones, on peut faire deux à trois récoltes de riz par an contre une seule sur les flancs des montagnes.

Au Cameroun, les bas-fonds sont valorisés pour les cultures telles que les légumes feuilles, le maïs, le manioc et les plantes médicinales, activités très lucratives qui permettent aux producteurs de s'établir au-dessus du seuil de pauvreté (Ndam *et al.*, 2023). Dans la région du Nord-Ouest, un projet est en vue dans le cadre du Projet d'appui au développement des filières agricoles phase II (PADFA II) avec l'aménagement de 150 ha nets de bas-fonds rizicoles dans la Mezam et la Menchum. Cependant, bien que les bas-fonds soient autant prisés, il est à noter que leur eaux, tout comme les eaux résiduaires, comportent le risque de contribuer à la transmission des maladies associées aux excréta (OMS, 2011) et les principaux risques consisteraient en la transmission des nématodes intestinaux au personnel travaillant dans les champs irrigués ou aux consommateurs de légumes y relatifs ainsi que des maladies bactériennes d'origine fécale.

### **I.1.6. Bas-fonds et urbanisation**

Sur le plan juridique, les bas-fonds relèvent du domaine public national et sont considérés comme zones écologiquement fragiles interdites à toute construction. En effet, les bas-fonds font partie des espaces impropres à la construction car exposent à de nombreux risques d'ordre écologique et sanitaire (Delville *et al.*, 2019). Dans la plupart des grandes métropoles, l'urbanisation a commencé sur un noyau central pour s'étaler vers les périphéries mais dans la ville de Yaoundé, cela n'a pas été le cas. En effet, l'occupation du site de Yaoundé s'est faite à partir de plusieurs noyaux (tels d'anciens villages situés sur les sommets d'interfluves) et l'occupation des bas-fonds a constitué la dernière étape du processus (Nguendo *et al.*, 2006). Ce dernier a commencé par l'occupation des sommets de collines par les autochtones, les colonisateurs allemands puis français et les couches sociales favorisées. Ces sommets représentaient pour eux des sites sécurisés et ventilés. Puis on est passé à la progression sur les versants vers les années 60 et 70. Et enfin, l'occupation des fonds de vallées qui se poursuit jusqu'à nos jours et qui se caractérise par l'investissement de ces zones par les nouveaux citadins bien que leurs caractéristiques topographiques et pédologiques fassent d'elles des zones à risque (Mougoue *et al.*, 2021).

Dans l'ensemble, les bas-fonds de Yaoundé sont répartis autour de la vingtaine de rivières et ruisseaux qui arrosent la ville et on estime qu'ils occupent environ 40% de l'espace physique de la ville (Mediebou, 2023). En fonction de leur mise en valeur, ces bas-fonds peuvent être classés en trois principales catégories à savoir :

- les bas-fonds aménagés à des fins industrielles : il s'agit des fonds de vallées dans lesquels les pouvoirs publics ont installé des infrastructures socio-économiques à l'instar du fond de la vallée du Ntem occupé par la CAMRAIL ;
- les bas-fonds envahis par la végétation et/ou exploités pour l'agriculture : qui sont des bas-fonds non-bâti et qui sont préservés par les populations autochtones pour l'agriculture, la cueillette d'écorces et de plantes médicinales ;
- les bas-fonds occupés par l'habitat et plus ou moins intensément exploités : il s'agit des bas-fonds qui bien qu'appartenant aux zones *non aedificandi* (ayant des caractéristiques physiques peu propices à l'installation humaine), ont vu de quartiers entiers s'y développer (Mouchili *et al.*, 2023).

Parlant de l'impact de l'urbanisation sur le peuplement de macroinvertébrés benthiques, Sanogo *et al.*, 2021 affirment qu'avec l'urbanisation, les communautés de macroinvertébrés benthiques sont moins diversifiées et sont dominées par des espèces plus tolérantes à la pollution. Ces modifications s'expliqueraient en majeure partie par la baisse de la qualité de l'eau dans les stations hautement urbanisées (Villeneuve *et al.*, 2021).

### **I.1.7. Protection des bas-fonds : la convention de Ramsar**

En matière de biodiversité, les zones humides sont les plus précieux de tous les écosystèmes car elles fournissent l'eau et les habitats essentiels à la survie, à l'alimentation et à la reproduction de la plupart des espèces animales et végétales surtout en milieu aride. En effet, on estime qu'elles abritent environ 80% de la biodiversité (RAMSAR, 1971) et c'est fort de ceci et de tous les rôles et fonctions que ces zones assurent que plusieurs Etats ont mis sur pied une stratégie pour les protéger. Il s'agit de la convention des zones humides encore appelée convention de Ramsar, du nom de la ville de Ramsar en Iran, où elle fut adoptée en 1971.

Il s'agit d'un cadre de coopération internationale et de l'action nationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides. Cette convention a été ratifiée par la quasi-totalité des Etats membres de l'ONU (y compris le Cameroun) et se fait accompagner par six principales organisations internationales partenaires que sont : l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), Wildfowl and Wetlands Trust (WWT), WWF International, International Water Management Institute (IWMI), Bird Life International et Wetland International (Stroud *et al.*, 2022).

Dans la convention de Ramsar, les zones humides ont été plus largement définies et comprennent : tous les lacs et cours d'eau, les aquifères souterrains, les marécages et marais, les prairies humides, les tourbières, les oasis, les estuaires, les deltas et étendues intertidales, les mangroves et autres zones côtières, les récifs coralliens et tous les autres sites artificiels (RAMSAR, 1971).

### **I.1.8. Cartographie des bas-fonds dans la ville de Yaoundé**

Dans la ville de Yaoundé, les bas-fonds correspondent à des dépressions allongées généralement parcourues par des cours d'eau communément appelées bas-fonds marécageux ou vallées marécageuses. En effet, la ville de Yaoundé est située sur la bordure Ouest du plateau Sud-Camerounais, en zone équatoriale (Tanawa *et al.*, 2002) et à 250 Km de la côte atlantique. C'est une zone mollement ondulée, appartenant à la grande « Surface africaine I » datée de

l'écène et où on observe une alternance de collines et de vallées gorgées d'eau (Apouamoun, 2006). Qualifié de "ville aux sept collines", Yaoundé se développe dans un site en collines et vallées, sur un plateau qui varie entre 700 et 800 mètres d'altitude, couronné de massifs montagneux aux formes arrondies culminant entre 1000 et 1300 mètres (Temgoua *et al.*, 2003).

En effet, trois principales unités morphologiques marquent le relief : les sommets d'interfluves, les pentes et les fonds de vallées inondables (Temgoua *et al.*, 2003). Ainsi donc Yaoundé possède de nombreux fonds de vallées et on évalue à environ 40%, l'espace physique de la ville couvert par ceux-ci (Chindji, 2023) parmi lesquels on peut citer entre autres (Figure 2) :

- Le fond de la vallée du Ntem situé au nord de la ville et dont le cours moyen est occupé par les installations de la Cameroon Rail Corporation (CAMRAIL) ;
- le fond de la vallée du Mfoundi traversé par le principal cours d'eau de la ville (le Mfoundi), et dont les rives de la section Sud abritent certaines usines ;
- le fond de la vallée de l'Ekozoa situé au centre-ville ;
- le fond de la vallée de Nkolkoumou (Nkolbisson) situé à l'Est de la ville ;
- le fond de la vallée de la Mefou (vers Simbock) situé au Sud-Ouest de la ville ;
- le fond de la vallée de Nylon-Bastos situé à l'Ouest du lieu-dit Rond-point Nlongkak ;
- le fond de la vallée de Mokolo-Briqueterie limité par les quartiers Nkomkana au Nord, Messa au Sud, Madagascar à l'Ouest et Tsinga à l'Est. Ce bas-fond est drainé par le cours d'eau Abiergué ;
- le fond de la vallée d'Obili et Etoug-Ebé drainé par le cours d'eau Biyéme ;
- le fond de la vallée d'Ezazou et le fond de la vallée d'Ahala qui sont l'objet de cette étude.

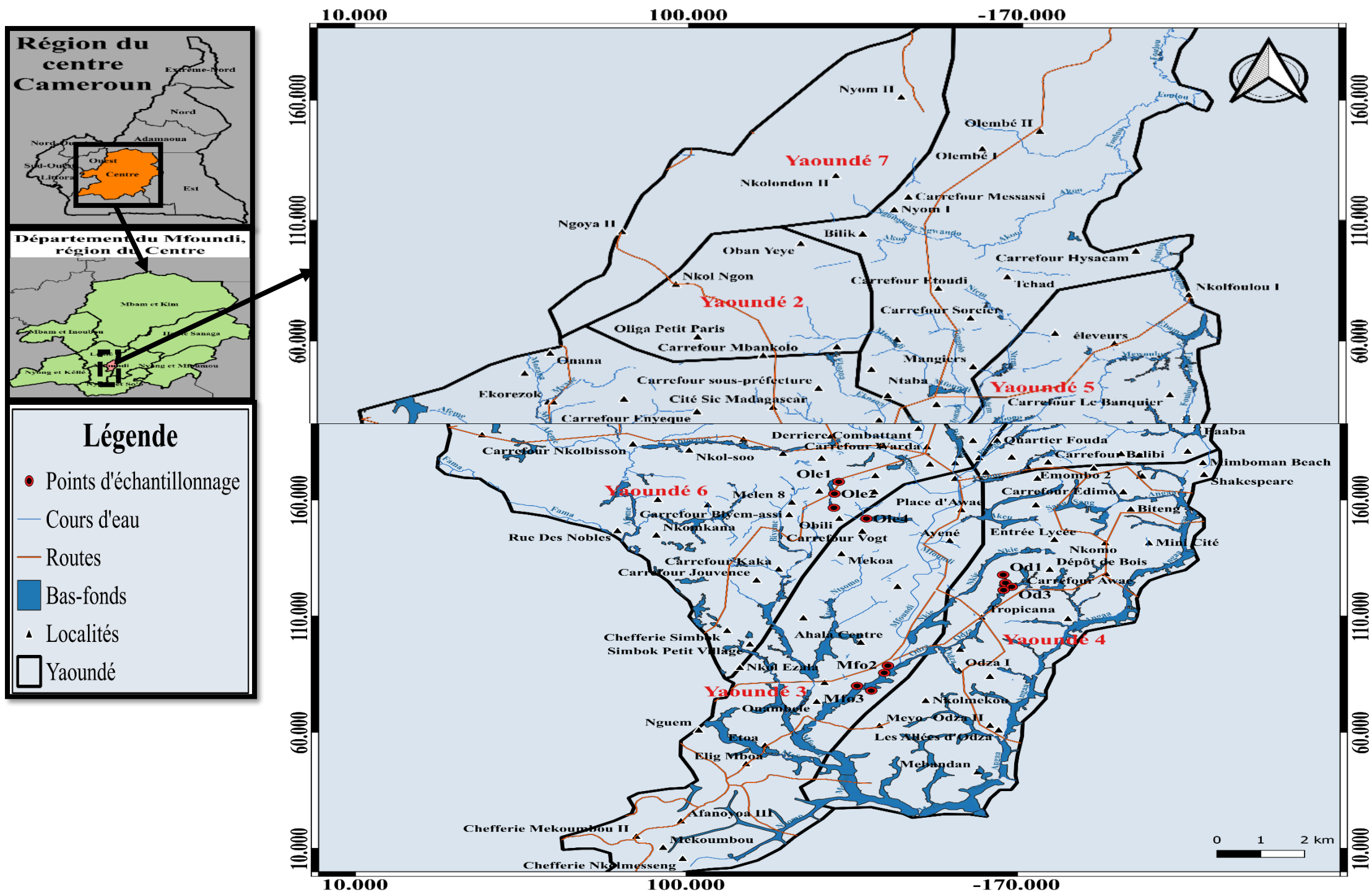
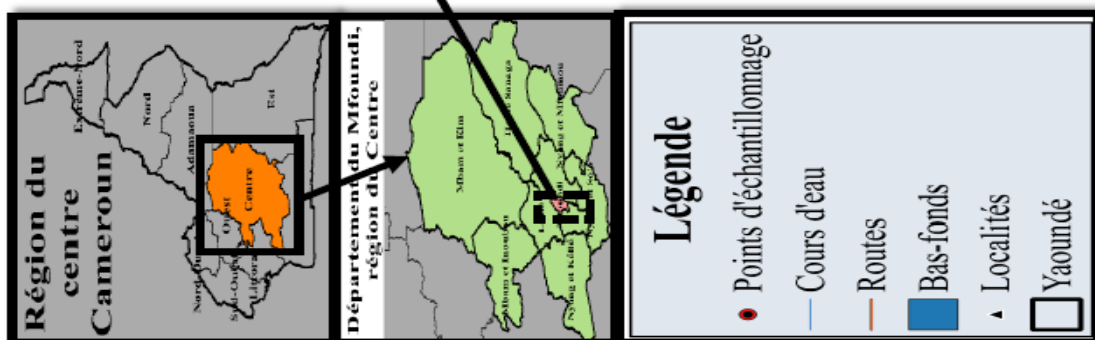
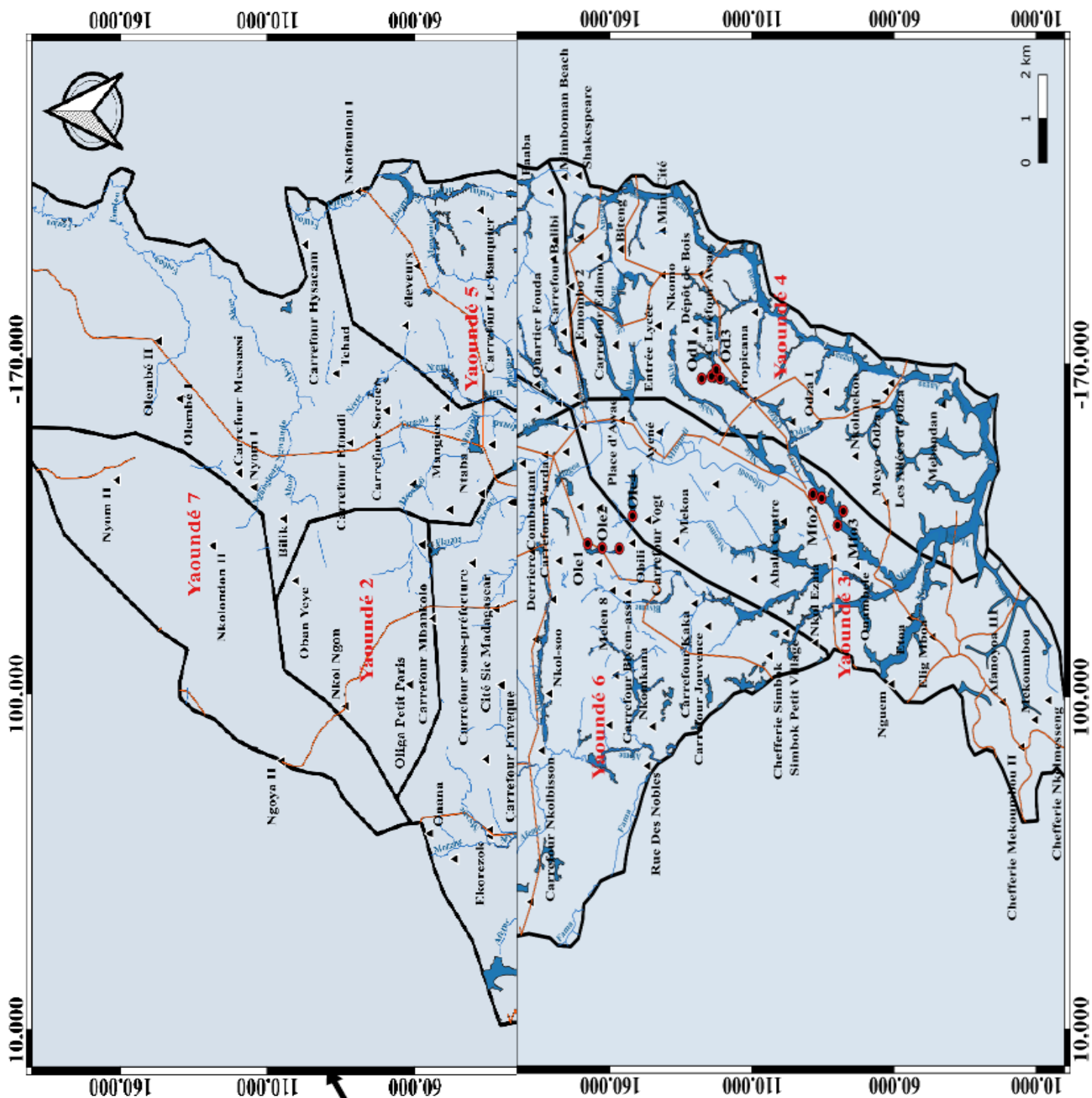


Figure 2 : Carte de quelques bas-fonds de la ville de Yaoundé (Source : Fond topographique de la région de Yaoundé, 1/50000 INC, 1980).



**Figure 2 :** Carte de quelques bas-fonds de la ville de Yaoundé (Source : Fond topographique de la région de Yaoundé, 1/50000 INC, 1980).

## **I.2. CARACTERISATION DES EAUX**

Pour caractériser les eaux, on s'appuie généralement sur un certain nombre de variables d'ordre physico-chimique et biologique.

### **I.2.1. Caractérisation physico-chimique**

L'habitat étant le premier élément structurant les communautés aquatiques, il est nécessaire de le décrire et d'en évaluer la qualité. Gueye *et al.*, (2023) mentionnent que le peuplement biologique d'un secteur de cours d'eau dépend d'abord de ses capacités naturelles et secondairement, des détériorations ayant pu modifier l'eau. Il importe donc d'avoir une bonne connaissance de la physico-chimie du milieu (Silga *et al.*, 2022). C'est ainsi que, pour caractériser les eaux, un certain nombre de paramètres physiques (la température, les solides totaux dissous, la turbidité et la couleur) et chimiques (le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, le gaz carbonique dissous, l'alcalinité, la dureté calcique, les orthophosphates, les nitrates, les nitrites, l'azote ammoniacal) sont mesurés.

#### **I.2.1.1. Température**

La température semble être la variable écologique la plus importante car elle influence directement et de façon pertinente le métabolisme des organismes aquatiques et leur répartition (Koné *et al.* 2022). Bien que chaque organisme possède son préférendum thermique autour duquel son métabolisme est équilibré, les fortes températures raccourcissent les cycles de développement contrairement aux faibles températures qui les rallongent. La température influe également sur la solubilité des gaz et des sels minéraux, la densité et la viscosité de l'eau ainsi que sur la vitesse des réactions biochimiques et chimiques se déroulant dans l'eau (Cheney *et al.*, 2019). Les principaux facteurs susceptibles d'influencer la température de l'eau à partir de la source sont : la saison, l'ensoleillement, l'altitude, la vitesse, la profondeur, la relation de l'eau avec la nappe phréatique et les rejets anthropiques avec des effets sur les peuplements aquatiques (Jabiol *et al.*, 2020).

#### **I.2.1.2. Couleur, Turbidité et Matières en suspension**

La couleur et la turbidité sont des variables liées. En effet, les particules solides sont responsables de la turbidité et du colmatage, ce qui influence la couleur de l'eau. Associées aux matières en suspension, les particules solides bloquent la pénétration de la lumière, freinant ainsi les activités photosynthétiques qui fournissent de l'oxygène dans le milieu et rendent

possible l'autoépuration (Kayiba *et al.*, 2024). Ces particules causent la mort des organismes benthiques par colmatage des organes respiratoires et renseignent sur la quantité de matière organique dissoute ou en suspension dans l'eau.

#### **I.2.1.3. Oxygène dissous**

La teneur en oxygène dissous donne des informations sur les capacités auto épuratrices du milieu Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène provient de l'atmosphère et de la photosynthèse (Gouton *et al.*, 2025). Sa teneur dans l'eau est un bon indicateur de sa qualité et du type d'organismes pouvant s'y développer. L'appauvrissement du milieu en dioxygène peut être dû à la décomposition de la matière organique par les bactéries aérobies et à la respiration de la faune et de la flore (Mboyé, 2019).

#### **I.2.1.4. Gaz carbonique dissous**

Le gaz carbonique dissous est directement lié à l'intensité photosynthétique. En effet, les végétaux chlorophylliens consomment le CO<sub>2</sub> et produisent l'O<sub>2</sub> lors de la photosynthèse. Inversement, lors de la respiration des organismes animaux et végétaux, il y a production du CO<sub>2</sub> et consommation d'oxygène. La teneur en CO<sub>2</sub> dissous peut influencer de façon significative la distribution des organismes aquatiques (Seraphin *et al.*, 2024).

#### **I.2.1.5. Formes d'azote**

Les formes d'azote sont utilisées comme nutriments par les organismes aquatiques et proviennent généralement des rejets urbains, agricoles et industriels (N'da, 2024). Bien que constituant une source d'aliments, leur présence à un taux anormalement élevé accélère le processus d'eutrophisation. En fonction du taux d'oxygénation et du degré de trophie du milieu, on distingue :

##### **- les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Naturellement, ils proviennent de l'oxydation de l'azote dans le milieu et leur excès est dû à leur apport par les engrais agricoles. Il s'agit de la forme d'azote la plus utilisée par les végétaux pour la photosynthèse et par ricochet celle la plus fréquente dans les eaux bien oxygénées (Kayiba *et al.*, 2024).

### **- l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

C'est la forme réduite de l'azote dont les teneurs élevées sont un signe de contamination par les rejets domestiques ou industriels. L'azote ammoniacal est très peu utilisé par les organismes pour lesquels il est parfois toxique (Fidji *et al.*, 2024). Les taux les plus élevés sont obtenus dans les eaux polluées, ce qui en fait un indicateur de pollution.

### **- les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

Ils représentent la forme intermédiaire entre les deux précédentes. Ils sont stables dans les milieux peu oxygénés et proviennent de la dégradation des nitrates. Ils constituent un bon indicateur de pollution organique (Sifa *et al.*, 2024).

### **I.2.1.6. Orthophosphates**

Les orthophosphates proviennent des rejets urbains, industriels et agricoles. Ils constituent le facteur limitant de l'eutrophisation et sont assimilables sous forme d'orthophosphates (Traoré *et al.*, 2025). En effet, les orthophosphates ou « phosphore réactif » représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques et leurs fortes teneurs entraînent les blooms algaux pouvant aboutir à la réduction de l'éclairement en profondeur. Leur mesure permet d'apprécier le degré de trophie et de pollution des eaux (Koné *et al.*, 2022).

### **I.2.1.7. pH**

Le pH traduit la basicité ou l'acidité de l'eau. Il varie avec la nature des sols traversés, les conditions édaphiques et les activités anthropiques du bassin versant (Ahoussi & Yapo, 2021). Il est donc un indicateur de l'altération chimique de la qualité des eaux. Les variations de pH sont inversement proportionnelles à la teneur de l'eau en gaz carbonique dissous. Dans la région de Yaoundé, il est proche de la neutralité (Obougou *et al.*, 2024). Les valeurs de pH conditionnent les équilibres physico-chimiques dans l'eau et le développement d'un type d'organismes particuliers selon que ceux-ci s'épanouissent mieux en milieu acide ou basique. Les organismes exigeants qui ne se développent que dans les eaux acides ou basiques peuvent ainsi être utilisés comme bioindicateurs de ces milieux.

### **I.2.1.8. Conductivité électrique**

La conductivité électrique matérialise l'ensemble des ions mobiles dans l'eau et constitue une bonne indication du degré de minéralisation de celle-ci (Saley *et al.*, 2025). Elle est d'autant

plus élevée que les eaux sont chargées, laquelle charge dépend de l'origine des eaux, la nature géologique du substrat, les confluences ou afférences souterraines et la pollution de l'eau. Elle a un impact sur le développement des organismes et sur les équilibres chimiques, suivant l'affinité de chaque organisme avec la concentration des ions.

#### **I.2.1.9. Alcalinité**

L'alcalinité correspond à la capacité de l'eau à neutraliser les acides en absorbant les protons pour arriver à un état de référence. Elle dépend de la concentration de l'eau en ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes. Elle renvoie donc au pouvoir tampon, c'est-à-dire l'aptitude de l'eau à maintenir son pH constant. Plus une eau est alcaline mieux elle protège la vie qu'elle héberge (Rakoto *et al.*, 2023).

#### **I.2.1.10. Dureté calcique**

La dureté calcique matérialise la teneur de l'eau en ions calcium. Elle dépend de la nature des sols traversés et des apports éventuels en carbonates. D'une manière générale, l'eau est plus dure en sol calcaire qu'en terrain siliceux. Suivant un taux croissant de dureté, on distingue les eaux douces, idéales et dures (Saley *et al.*, 2025).

#### **I.2.1.11. Oxydabilité**

L'oxydabilité correspond à la quantité d'oxygène cédée par l'ion permanganate et consommée par la matière organique oxydable contenue dans l'eau. Une oxydabilité élevée est donc un signe de contamination du milieu par de la matière organique (Tabellenkou *et al.*, 2022). En effet, l'oxydabilité met en exergue les matières organiques biodégradables qui proviennent du lessivage des sols et du métabolisme des organismes aquatiques.

### **I.2.2. Caractérisation biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques**

Pour effectuer la caractérisation biologique d'une eau, on peut se servir des êtres vivants qui y vivent (Kabore *et al.*, 2023). Généralement, on s'appuie sur certains groupes d'organismes dont la sensibilité à la pollution est assez tranchée (organismes polluo-sensibles ou polluo-résistants). C'est ainsi que certains organismes appartenant au groupe des Bactéries, des Protozoaires, des Helminthes et des macroinvertébrés benthiques peuvent être utilisés.

### **I.2.2.1. Définition des macroinvertébrés benthiques**

Les macroinvertébrés benthiques sont les organismes visibles à l'œil nu, dépourvus de squelette osseux et qui effectuent au moins une partie de leur cycle de vie au fond des milieux aquatiques. Ils sont de grande taille (supérieur à 0,5 mm), ce qui facilite leur collecte, leur manipulation et leur reconnaissance (Sanogo *et al.*, 2021).

Les méthodes biologiques d'évaluation de la qualité de l'eau reposent sur l'utilisation de bioindicateurs c'est-à-dire d'organismes (animal ou végétal) qui, par suite de leurs particularités écologiques, sont l'indice de modifications abiotiques ou biotiques de l'environnement dues à un type particulier d'action humaine (Mudekereza *et al.*, 2023) et les macroinvertébrés benthiques répondent parfaitement à ces critères.

En outre, l'utilisation des macroinvertébrés dans l'évaluation de la qualité de l'eau présente de nombreux avantages. Elle permet de passer en revue les effectifs biologiques, c'est-à-dire intégrateurs d'un certain nombre de conditions physiques et chimiques. 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 (Abessolo *et al.*, 2021). Elle est capable de détecter les changements les plus subtils tout comme les sources de pollution diffuse.

Par ailleurs, 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 physicochimique (Moisan & Pelletier, 2008). En effet, lorsqu'une perturbation survient, elle provoque, d'une part, la disparition partielle ou totale du peuplement pionnier et d'autre part la prolifération d'espèces ayant une affinité pour ces nouvelles conditions.

### **I.2.2.2. Diversité et biologie des macroinvertébrés benthiques**

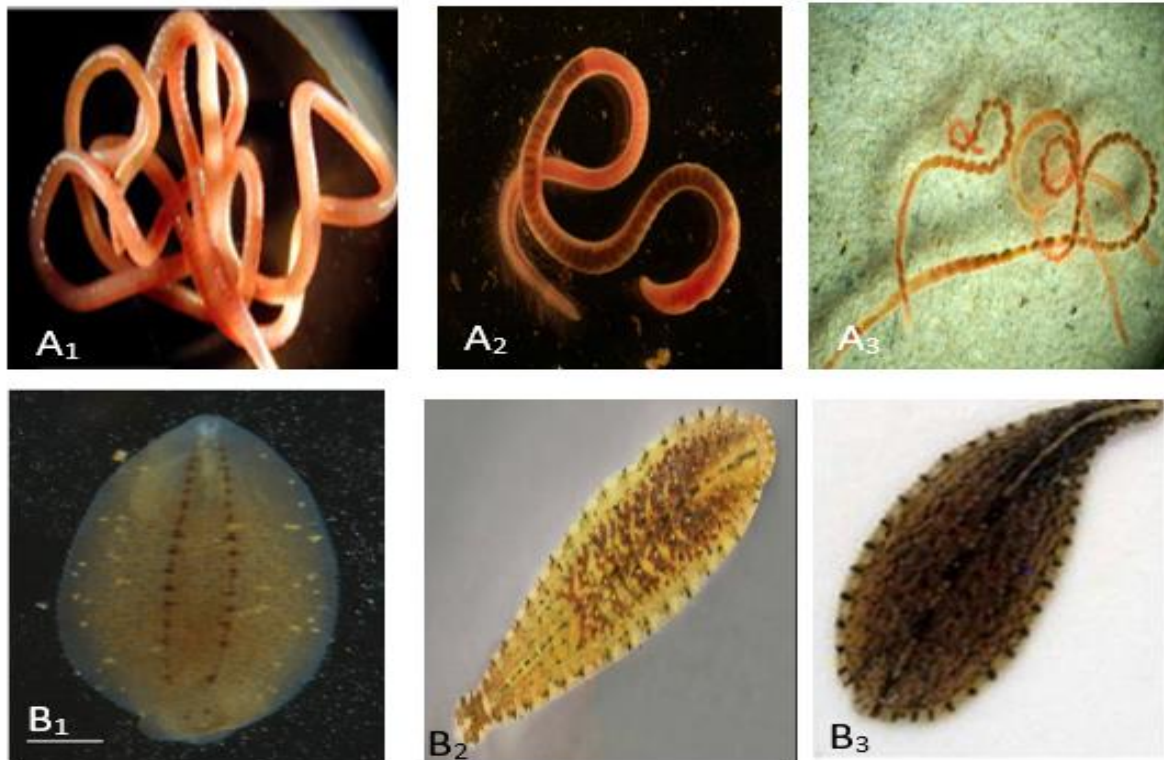
Les macroinvertébrés benthiques viennent des milieux lotiques qui leur offrent plus de microhabitats que les milieux lentiques. Quant aux milieux marins, ils en sont très pauvres du fait de la salinité. En milieu aquatique, les macroinvertébrés colonisent généralement les végétaux (algues, mousses, macrophytes), la matière organique en décomposition (litière, branchages, débris de bois), les pierres et la vase. Les macroinvertébrés benthiques sont

constitués d'une variété d'organismes (Tachet *et al.*, 2010) comprenant les Annélides, les Mollusques, les Arthropodes (les Crustacés et les Insectes).

### ➤ **Les Annélides**

Les Annélides sont les métazoaires triploblastiques coelomates, protostomiens, hyponeuriens à symétrie bilatérale. Leur corps est métamérisé et constitué de trois régions : le prostomium, le soma et le pygidium (Tachet *et al.*, 2010). Les annélides colonisent tous les types de milieux aquatiques et s'insèrent dans les chaînes trophiques, servant de proies aux poissons et aux amphibiens tout en décomposant la matière organique (Adandedjan, 2012). L'embranchement des Annélides est constitué de trois principales classes qui sont : les Polychètes, les Oligochètes et les Achètes.

En milieu aquatique, seuls les Oligochètes et les Achètes sont représentés. Les Oligochètes sont les Annélides possédant peu de soies très souvent regroupées en faisceaux. Généralement abondants dans les milieux aquatiques, les oligochètes sont détritivores et abondent dans les sédiments (Bah *et al.*, 2025). Ce sont des êtres hermaphrodites à fécondation croisée. Leur corps présente une bouche portée par le prostomium, des branchies respiratoires et une glande sexuelle épidermique appelée le clitellum qui sécrète le sac ovigère. Les Achètes sont des Annélides caractérisés par l'absence totale de soies. Ils possèdent deux ventouses (une antérieure et une postérieure) et des yeux dont le nombre et la disposition constituent des critères d'identification (Tachet *et al.*, 2010). Ils se déplacent par reptation, ils sont prédateurs de larves d'insectes et d'escargots.



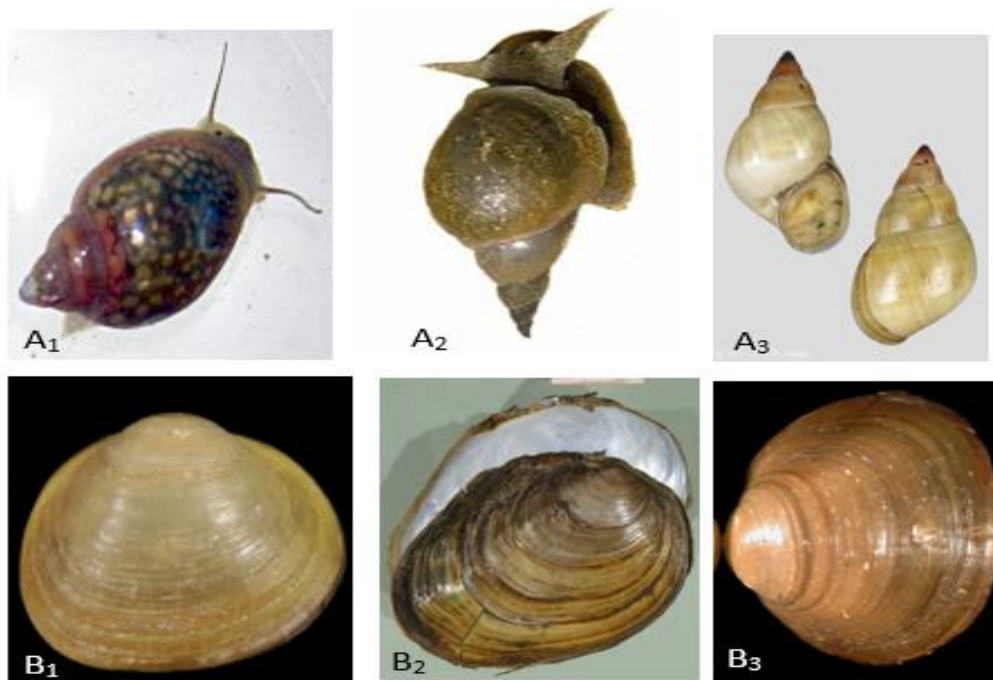
**Figure 3 :** Photos de quelques Annélides d'eau douce. Oligochètes (A<sub>1</sub> : *Haplotaxis* sp ; A<sub>2</sub> : *Branchiura sowerbyi* ; A<sub>3</sub> : *Tubifex* sp.). Achètes (B<sub>1</sub> : *Glossiphonia* sp. ; B<sub>2</sub> : *Hemiclepsis marginata* ; B<sub>3</sub> : *Placobdella costata*). (Levêque, 1980 ; Leclercq, 2011 ; Piancamore *et al.*, 2011).

### ➤ Les Mollusques

Les Mollusques sont généralement les métazoaires triploblastiques coelomates, protostomiens, hyponeuriens à symétrie bilatérale, à corps mou non-segmenté et dépourvus d'appendices articulés (Bazin, 1996). Ils sont constitués de deux classes : les Bivalves et les Gastéropodes. Les Bivalves, encore appelés Lamellibranches, sont des Mollusques à symétrie bilatérale primitive conservée. En effet, leur coquille contient deux valves calcifiées sustentées par des muscles adducteurs et qui s'articulent au niveau de la charnière par un ligament. Parlant de leur reproduction, ils sont soit gonochoriques soit hermaphrodites. Les Gastéropodes sont caractérisés par la disparition de la symétrie bilatérale au profit d'un enroulement hélicoïdal de la masse viscérale. Leur reproduction est essentiellement sexuée avec quelques rares cas de parthénogenèse (Tachet *et al.*, 2010).

La Classe des Gastéropodes se subdivise en deux sous-classes : les prosobranches et les pulmonés. Les prosobranches sont gonochoriques et leur coquille, généralement dextre, est

fermée par un opercule calcaire ou corné pendant que les pulmonés sont hermaphrodites et leur coquille est, soit dextre soit senestre et dépourvue d'opercule (De Moor et Day, 2002).



**Figure 4 :** Photos de quelques Mollusques d'eau douce. Gastéropodes (A1 : *Physa acuta* ; A2 : *Lymnaea stagnalis* ; A3 : *Bellamya capillata*). Bivalves (B1 : *Sphaerium* sp. ; B2 : *Anodonta anatina* ; B3 : *Sphaerium corneus*). (Levêque, 1980 ; Leclercq, 2011 ; Piancamore *et al.*, 2011)

### ➤ Les Crustacés

Les Crustacés sont généralement les métazoaires triploblastiques coelomates, protostomiens, hygoneuriens à symétrie bilatérale, dont le corps est constitué de plusieurs segments portant chacun fondamentalement une paire d'appendices et deux paires d'antennes (Moisan & Pelletier, 2008). Ce sont des êtres gonochoriques à reproduction sexuée avec quelques cas de parthénogenèse. La classe des Crustacés est subdivisée en deux sous-classes : les Entomostracés et les Malacostracés (Tachet *et al.*, 2010).

Les Malacostracés représentent la sous-classe la plus diversifiée et dont le corps est composé de trois segments ou tagmes : le céphalon, le péréion et le pléon. Ils sont constitués de plusieurs super-ordres dont les deux principaux sont les Péracarides (contenant les ordres tels que les Isopodes, les Amphipodes) et les Eucarides (contenant les ordres des Décapodes et des Euphausiacés). Les Isopodes se caractérisent par un corps fortement aplati dorso-ventralement et la présence de deux paires d'antennes dont la première est plus longue que la seconde pendant

que chez les Amphipodes, on note un aplatissement latéral du corps et la présence de deux paires d'antennes sensiblement égales (Tachet *et al.*, 2010). Quant aux Décapodes, ils se caractérisent par la présence d'une carapace céphalothoracique qui recouvre complètement les bases des péréiopodes dont les trois premières paires sont transformées en maxillipèdes (Gasparini, 2004).



**Figure 5 :** Photos de quelques Crustacés. Isopodes (A1 : *Asellus aquaticus* ; A2 : *Armadillidium* sp ; A3 : *Euridice affinis*). Décapodes (B1 : *Pacifastacus leniusculus* ; B2 : *Potamon* sp ; B3 : *Faxonius limosus*). (Moisan, 2006 ; Leclercq, 2011)

### ➤ Les Insectes

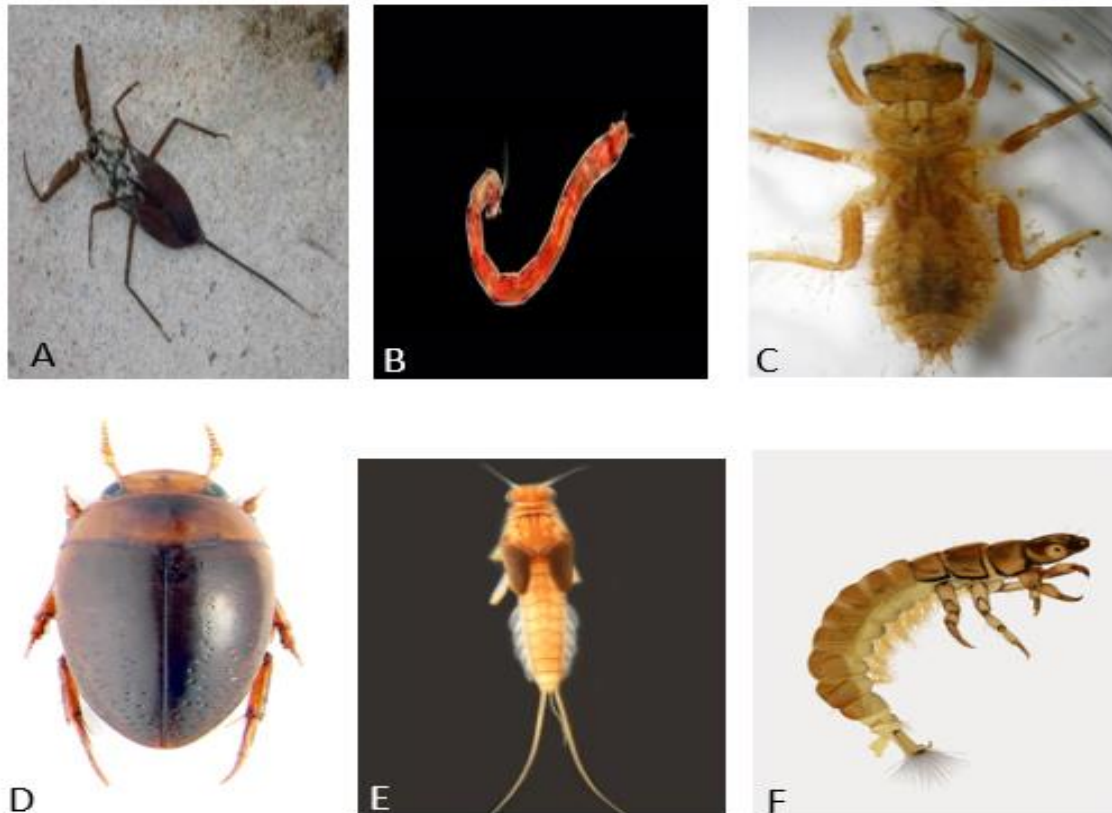
Les Insectes sont des arthropodes possédant trois paires de pattes (chez l'adulte et chez certaines larves) et dont le corps est divisé en trois tagmes : la tête, le thorax et l'abdomen. Bien que certains cas de parthénogenèse existent, les Insectes sont des êtres gonochoriques (Zerrouk *et al.*, 2021). Ils représentent le groupe le plus fourni des macroinvertébrés benthiques dont les ordres les plus courants sont : les Hétéroptères, les Diptères, les Odonates, les Coléoptères, les Epheméroptères, les Plécoptères, les Trichoptères et les Mégaloptères. Des onze ordres présents en eau douce, cinq ont des larves exclusivement aquatiques (Tachet *et al.*, 2010) ; ce sont les Odonates, les Epheméroptères, les Plécoptères, les Trichoptères et les Mégaloptères.

Les Hétéroptères constituent un sous-ordre de l'ordre des Hémiptères caractérisés par des ailes antérieures cornées à la base et membraneuses à leur extrémité. Ce sont des insectes assez cosmopolites et aux exigences écologiques propre à chaque espèce (Brahimi *et al.*, 2021). Concernant leurs pièces buccales, ils possèdent un rostre de type piqueur-suceur.

Les Diptères représentent les insectes aquatiques les plus abondants et les plus diversifiés tant sur le plan écologique que biogéographique et dotés d'une grande capacité de colonisation des biotopes les plus variés. Leurs larves se distinguent par l'absence de pattes thoraciques (Labat, 2021).

Les Odonates sont des insectes caractérisés par la présence d'un labium transformé en masque. Ils colonisent aisément les zones assez fraîches et à faible vitesse d'écoulement des eaux et leur diversité dépend du régime thermique et de l'éclairement qui jouerait un rôle de facteur limitant (Messoé *et al.*, 2022).

Les Coléoptères constituent l'ordre des insectes dont les formes larvaire et adulte sont présentes en milieu aquatique. Ils sont très diversifiés et aptes à s'adapter à divers biotopes. Leur organisation structurelle révèle la présence de pièces buccales de type broyeur et des trachéo-branchies abdominales (Cosandey, 2023).



**Figure 6 :** Photos de quelques Insectes. A = *Laccotrephes* sp (Hémiptère). B = *Chironomus* sp. (Diptère). C = *Orthetrum* sp. (Odonate). D = *Noterus* sp. (Coléoptère). E = *Baetis* sp. (Ephéméroptère). F = *Hydropsyche* sp. (Trichoptère). (Moisan, 2006 ; Leclercq, 2011).

### **I.3. ÉTHO-ÉCOLOGIE DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES**

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes qui vivent connectés à leur milieu de vie ; ainsi, les facteurs environnementaux ont une influence directe sur leur éthologie (Silga *et al.*, 2022). En effet, la température du milieu conditionne leur cycle de développement pendant que la teneur de l'eau en oxygène dissous détermine l'absence ou la présence de certains groupes.

Quant au degré de trophie du milieu, il conditionne la composition taxonomique pendant que la granulométrie des substrats influence leur taille et leur abondance. Pour ce qui est de la vitesse du courant, elle influence le renouvellement de l'eau en oxygène dissous ainsi que la dérive des aliments et de certains organismes (Stevens *et al.*, 2022). La vitesse d'écoulement des eaux peut également être à l'origine de certaines adaptations morphologiques des macroinvertébrés benthiques dont l'abondance et la diversité sont influencés par la nature et la taille des plantes aquatiques.

Les différentes espèces se sont 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, tandis que ceux dits polluotolérants (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).

Concernant la vitesse d'écoulement des eaux, 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, herbiers, feuilles mortes, ou dans les crevasses, et ne sont actifs que la nuit (Kabore *et al.*, 2023). 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 (Le Hingrat & Boileau, 2021). Ainsi, la présence ou l'absence d'une espèce dans un milieu donné dépend de la combinaison d'une multitude de facteurs. Concernant leurs cycles biologiques, les macroinvertébrés benthiques ont des cycles de durée variable allant de quelques mois à plusieurs années.

En fonction de leur mode de colonisation spatiale, on distingue trois principales communautés de macroinvertébrés benthiques à savoir les suprabenthiques qui sont les macroinvertébrés se développant dans l'eau et sur les sédiments, les épibenthiques se développant à l'interface eau-sédiment et les endobenthiques se développant à l'intérieur des sédiments (Silga *et al.*, 2022).

Parlant de leur alimentation, les macroinvertébrés benthiques ont des régimes alimentaires très variés et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire aquatique car faisant partie du régime alimentaire de nombreux organismes aquatiques tels que les poissons, les oiseaux et les amphibiens (Gnoumou & Sirima, 2024). En milieu aquatique, les macroinvertébrés benthiques occupent plusieurs niveaux trophiques pouvant être regroupés en cinq principaux groupes (Tachet *et al.*, 2010). En effet, ils sont :

- Détritivores, se nourrissant de débris d'animaux et de végétaux en décomposition et de matière organique dissoute. Il s'agit entre autres des Lymnaeidae, des Bulinidae, des Caenidae, des Ephemerethidae, des Ameletidae, des Ephemerellidae, des Physidae, des Bithynidae, des Planorbidae, des Leptophlebiae, des Baetidae et des Thiaridae ;
- filtreurs, consommant les fines particules de débris organiques et de microphytes en suspension. Ce sont entre autres : les Hydropsychidae, les Simuliidae, les Syrphidae, les Culicidae, et les Chironomidae ;
- herbivores, se nourrissant de macrophytes et d'algues tels que : les Curculionidae, les Chrysomelidae, les Dryopidae, les Lymnephilidae et les Oligoneuridae ;
- omnivores, se nourrissant de débris d'animaux et de végétaux à l'instar des : Blaberidae, des Atyidae et des Potamonidae ;
- prédateurs, capturant des proies telles les autres invertébrés ou de petits vertébrés pour s'en nourrir. Ce sont entre autres : les Naucoridae, les Libellulidae, les Aeshnidae, les Lestidae, les Coenagrionidae, les Ceratopogonidae, les Tabanidae, les Gyrinidae, les Chaoboridae, les Dytiscidae, les Belostomatidae et les Nepidae.

#### **I.4. EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX**

Pour apprécier l'altération et la qualité des eaux d'un cours d'eau, on se base sur des modèles configuratifs axés sur les systèmes d'évaluation. Un tel système est un protocole permettant d'évaluer de façon durable et efficace la qualité des eaux en se fondant sur les critères significatifs (Yéo *et al.*, 2023). La qualité d'une eau étant ambivalente, on use alors d'outils pouvant matérialiser aussi bien la qualité physico-chimique que biologique des eaux.

### **I.4.1. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau**

Pour évaluer la qualité physico-chimique d'une eau, on analyse certains paramètres ; en effet, on les mesure et on les compare aux marges de valeurs standards ou à des grilles de qualité existantes ou alors on calcule des indices tel l'Indice de Pollution Organique (IPO) (Leclercq, 2001). L'objectif visé est la quantification de la charge des eaux en éléments susceptibles de les polluer tels que :

- La matière organique oxydable qui donne une idée sur la pollution organique, précurseur d'un appauvrissement du milieu en oxygène ;
- les matières azotées qui servent de nutriments et contribuent énormément à l'eutrophisation et à la minéralisation du milieu ;
- les matières phosphorées qui sont des nutriments et représentent un facteur limitant de l'eutrophisation.

### **I.4.2. Evaluation de la qualité biologique de l'eau**

L'évaluation de la qualité biologique d'une eau consiste en l'examen des différents groupes d'organismes animaux et végétaux et de leurs caractéristiques écologiques (Silga *et al.*, 2022). D'une manière générale, on se sert de deux principales catégories de méthodes qui sont les méthodes linéaires et les méthodes indicielles.

#### **I.4.2.1. Méthodes linéaires**

Les méthodes linéaires ont pour principe l'analyse des proportions, des rapports et de l'abondance des espèces aux exigences écologiques assez strictes et de seuil de tolérance connu (Moisan & Pelletier, 2008). C'est ainsi qu'une forte abondance des groupes tels les Cyanophytes, les Euglénophytes, les Tubificidés ou les Diptères Chironomidés indique des eaux très polluées tandis que la présence des Ephéméroptères, Trichoptères, Plécoptères ou encore des Décapodes Atyidae prédit une qualité meilleure des eaux. C'est ainsi qu'on peut déterminer : la richesse spécifique, le rapport abondance EPT/ abondance Chironomidae, etc.

#### **I.4.2.2. Méthodes indicielles**

Le principe de ces méthodes est la mesure de l'écart entre la structure d'un peuplement observé et celle d'un peuplement attendu en situation de référence (Chauvin *et al.*, 2021). C'est ainsi que plusieurs auteurs ont proposé des indices parmi lesquels on peut citer entre autres :

l'indice de Shannon et Weaver (H'), l'indice de Piélou, l'indice de Simpson, l'indice EPT, l'indice de Hilsenhooff, l'indice multimétrique des macroinvertébrés benthiques Yaoundéens (IMMY) et l'indice multimétrique des macroinvertébrés de la région Ouest Cameroun (IMMOC).

## **I.5. INNOVATION DANS LA SURVEILLANCE DE LA BIODIVERSITE AQUATIQUE : LE METABARCODING**

Pour surveiller la diversité aquatique, plusieurs techniques d'échantillonnage sont utilisées à l'instar de l'échantillonnage mécanique, la pêche scientifique à l'électricité et plus récemment la technique du metabarcoding (l'ADNe).

Le metabarcoding est une technique basée sur le fait que chaque être vivant laisse les traces d'ADN lors de son passage dans un milieu (Le Borgne & Bouget, 2024). L'approche consiste à récolter les échantillons d'eau du milieu pour identifier les êtres vivants qui y vivent ou y sont passés grâce à l'identification de leurs traces d'ADN. On procède par le prélèvement de l'eau de l'hydrosystème concerné pour récupérer les fragments d'ADN des organismes ensuite on analyse ces prélèvements grâce à l'amplification des fragments de « codes-barres d'ADN » afin de les séquencer puis on compare les résultats obtenus avec la base des références d'espèces grâce à un traitement bio-informatique (Vasselon *et al.*, 2025).

Cette technique est innovante et à l'avantage d'être sans impact sur les organismes du milieu car ceux-ci ne sont pas prélevés, ce qui peut permettre un bon suivi des espèces rares. En outre, elle permet un inventaire à grande échelle avec gain de temps et d'argent. Cependant, avec la technique du metabarcoding, la densité des espèces est difficile à quantifier et il est impossible d'avoir les mensurations des organismes. En outre, la mise en œuvre nécessite des protocoles d'échantillonnage adaptés et la conception d'une base de données de références moléculaires des espèces.

## **I.6. PARTICULARITE SUR LES MACROINVERTEBRES DU CAMEROUN**

Au Cameroun, plusieurs études portant sur les macroinvertébrés benthiques ont été menés. Il s'agit entre autres des travaux de Foto Menbohan (2012), Foto Menbohan *et al.* (2012 et 2013), Ajeegah *et al.* (2014), Biram A Ngon (2019), Moanono (2022), Boudem (2023) et Nwaha (2023).

Au cours des travaux de Foto Menbohan (2012) effectués dans la zone urbaine de Yaoundé, 96 taxons de macroinvertébrés benthiques avaient été identifiés repartis en 5

embranchements, 7 classes, 18 ordres et 52 familles. Les Crustacés étaient absents dans toutes les stations situées en milieu urbain et seules trois espèces de Décapodes Atyidae (*Atyaephyra africana*, *Atyaephyra desmarestii* et *Caridina africana*) avaient été répertoriées uniquement dans la partie aval du cours d'eau Biyéme, située en zone périurbaine. La classe des Insectes (essentiellement représentée par les Diptères Chironomidae, Psychodidae et Syrphidae) prédominait avec 8 ordres, 30 familles et 52 taxa et elle était suivie de la classe des Gastéropodes (essentiellement représentée par les Physidae et les Hydrobiidae) ayant 2 ordres, 8 familles et 17 taxons. Concernant les Annélides, ils étaient essentiellement représentés par les Oligochètes Aeolosomatidae (*Aeolosoma hemprichi*, *Heamopsis sanguisuga*), les Tubificidae (*Tubifex tubifex*) et les Lumbriculidae (*Lumbriculus* sp) tandis que les Némathelminthes étaient exclusivement représentés par l'espèce *Aphelenchoides microlaimus* (Aphelenchoidea) et les Plathelminthes par l'espèce *Dugesia tigrina* (Dugesioidea).

Les travaux de Foto Menbohan *et al.* (2012 et 2013) avaient été effectués dans la zone périurbaine de la périphérie Ouest de la ville de Yaoundé, respectivement dans le cours supérieur de la rivière Mefou et dans le cours d'eau Nga (affluent de la Mefou). Ces travaux avaient permis d'identifier 4 embranchements, à savoir les Arthropodes (99,25 %), les Mollusques (0,39 %), les Annélides (0,20 %) et les Némathelminthes (0,16 %) répartis dans 7 classes, 15 ordres, 74 familles et 117 taxons. La classe des Insectes prédominait avec 63,85 % de l'abondance totale et comptait 8 ordres, 66 familles et plus de 111 taxons et elle était suivie de celle des Crustacés (35,41 %) avec 1 ordre, 2 familles et 2 taxons. Les cinq autres classes (Oligochètes, Achètes, Gastéropodes, Bivalves et Gordiacés) ne représentaient que 0,74 % de l'abondance totale. Des 15 ordres répertoriés, 9 avaient été présents dans toutes les stations étudiées. Il s'agissait des Décapodes (35,41 %), des Coléoptères (21,19 %), des Odonates (14,02 %), des Hémiptères (10,46 %), des Ephéméroptères (9,09 %), des Plécoptères (3,76 %), des Diptères (2,27 %), des Trichoptères (1,87 %) et des Dictyoptères (1,21 %). Les six autres ordres avaient été récoltés de façon sporadique et ne représentaient que 0,75 % de l'abondance totale.

Les travaux de Ajeegah *et al.* (2014) avaient porté sur la morphologie et l'abondance des stades de développement d'un Hétéroptère-Naucoridae, *Ilyocoris cimicoïdes* Linné 1758, dans l'étang d'Obili. L'analyse physico-chimique avait montré que ce lac était dans un état eutrophe à hypereutrophe et que ses eaux étaient fortement chargées en matière organique. Les observations morphologiques et l'illustration des stades de développement ainsi que l'étude de leurs fluctuations numériques montraient qu'*Ilyocoris cimicoïdes* a six stades post-embryonnaires parmi lesquels cinq sont larvaires. La taille des individus augmentait de la larve

de 1<sup>er</sup> stade jusqu'au stade adulte. Les stades larvaires d'*Ilyocoris cimicoïdes* se distinguaient les uns des autres par la présence ou l'absence du ptérothèque, la forme de la marge postérieure du mésotergum et la taille relative du ptérothèque par rapport à la base du mésotergum. C'est ainsi qu'à l'issue de ces travaux, il était établi que l'abondance des stades de développement d'*Ilyocoris cimicoïdes* était influencée par la saisonnalité et l'évolution de certaines variables physico-chimiques et que les larves pullulent mieux pendant la saison sèche et les œufs et adultes pendant la saison des pluies.

Concernant les travaux de Biram à Ngon (2019), ils portaient sur l'étude bioécologique des Dictyoptères aquatiques dans le bassin versant de la Mefou. Au terme de cette étude un total de 143 échantillons avait été obtenu pour un effectif de 9647 individus dont 2002 dictyoptères. L'observation des larves de dictyoptères avait permis de mettre en évidence la présence des soies natatoires sur la face interne des pattes et de deux rangées de stigmates respiratoires à la base de chaque segment abdominal. La dissection des plaques sous génitales mâle avait permis de mettre en évidence les variations structurelles des organes génitaux. C'est ainsi que trois morphotypes (le noir, le marron et le brun) avaient été mis en évidence. Sur le plan fonctionnel, cette étude avait révélé que les dictyoptères et les autres macroinvertébrés benthiques sympatriques (à l'instar des Perlidae, des Ephemeridae, des Hydropsychidae et des Ephemerellidae) présentaient des affinités similaires et affectionnaient les cours d'eau ayant de fortes teneurs en oxygène dissous et un substrat de fond grossier.

Parlant des travaux de Moanono (2022) qui portaient sur la biotypologie des macroinvertébrés des mangroves de la côte du Littoral camerounais, un total de 6094 organismes appartenant à 73 espèces ont été recensés. Ces taxons étaient repartis en 3 embranchements, 5 classes, 12 ordres et 27 familles. Parlant des abondances, les Mollusques ont dominé (63,01%) suivis des Arthropodes (36,92%) et enfin des Annélides (0,07%). Parlant de la richesse taxonomique, l'étude a révélé qu'elle était plus élevée au sein des stations situées en eau saumâtre que dans celles situées en eau douce et aussi plus élevée en marée basse qu'en marée haute. Pour ce qui est de l'éthologie, les mangroves prospectées se sont avérées abriter essentiellement les organismes détritivores (38,35%) et filtreurs (36,98%), ayant une respiration branchiale (48%) ou double (42%) (branchiale et pulmonaire) et se déplaçant principalement par la marche (59%) et la nage (34%).

Les travaux de Boudem (2023) portant sur la diversité des macroinvertébrés benthiques des eaux des cours d'eau Lobo, Dja et du lac de barrage de Mékin ont révélé que l'essentiel de la richesse taxonomique et de l'abondance relative était constitué des Odonates (35,31%), des Héteroptères (35,05%), des Coléoptères (12,58%) et les Ephemeroptères (10,54%). Certaines

espèces à l'instar de *Appasus* sp.2, *Trithemis dorsalis*, *Notonecta* sp.1, *Povilla* sp. et *Micronecta* sp. dominaient la quasi-totalité des plans d'eau étudiés. Cette étude avait également attribué, pour la première fois, le statut d'espèces dominantes des cours d'eau du bassin versant du Dja à cinq espèces. En outre, l'Odonate Platycnemididés ni et l'Ephéméroptère Polymictarcyidés *Povilla* sp. avaient été retrouvés pour la première fois dans des travaux réalisés respectivement en Afrique et au Cameroun.

Concernant les travaux de Nwaha (2023) portant sur l'influence de quelques facteurs environnementaux sur la distribution des macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun, c'est un total de 174 taxons qui avait été identifié, reparti en 3 embranchements, 5 classes, 11 ordres, 62 familles et 7828 individus. Il ressortait que la macrofaune benthique était dominée par les Insectes (63,67%) et les Crustacés (33,29%). Les indices de diversité avaient révélé un peuplement de macroinvertébrés benthiques riche, diversifié et réparti équitablement dans l'ensemble des cours d'eau. Sur le plan trophique, les prédateurs dominaient le peuplement en abondance relative mais en terme de richesse taxonomique, les détritivores étaient les plus diversifiés.

## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

## II.1. MATERIEL

### II.1.1. Présentation du site d'étude

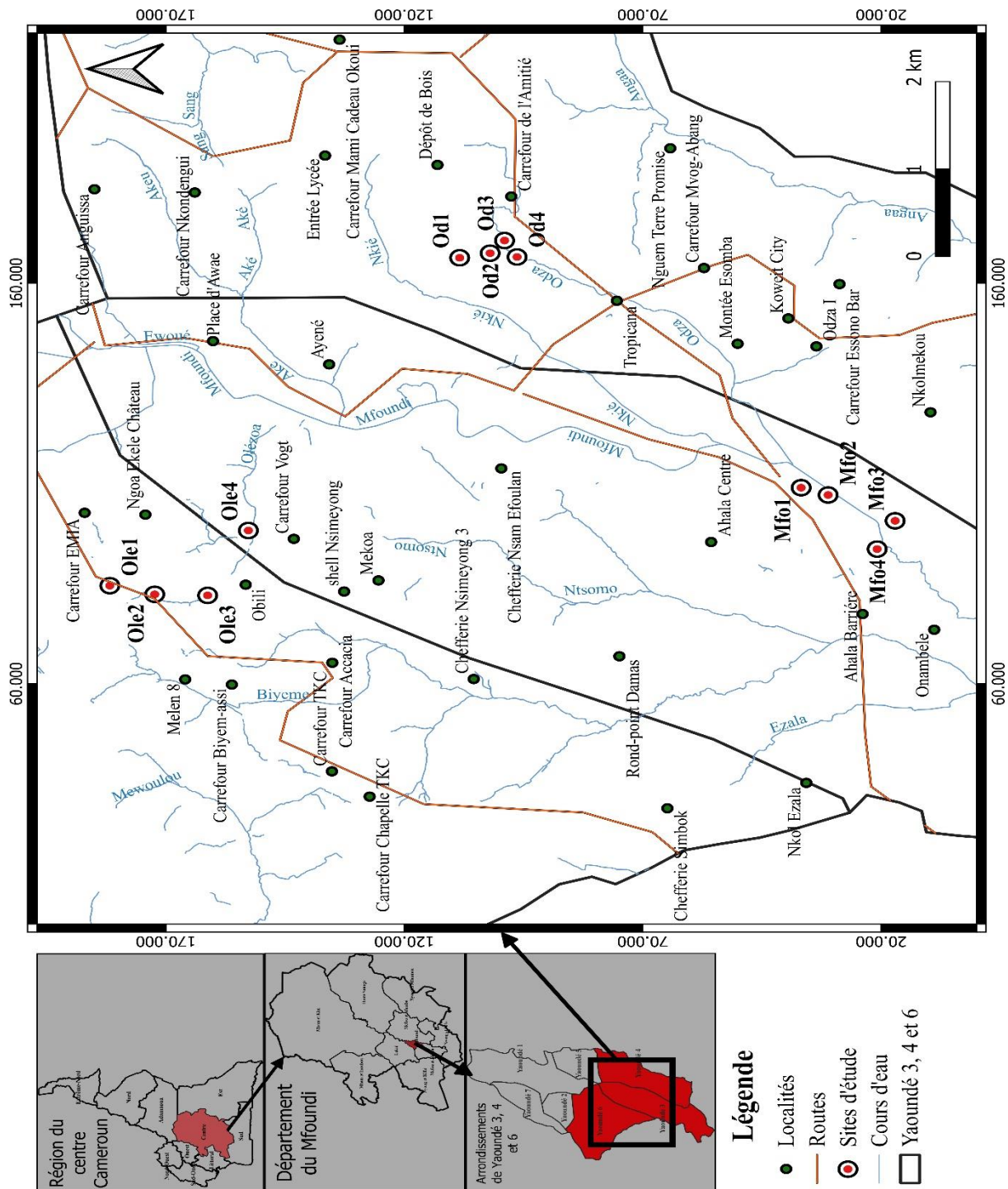
Les études ont été faites dans trois zones inondables de la ville de Yaoundé à savoir : Ezazou, Ahala et Ngoa-ékellé. Yaoundé est le chef-lieu de la région du Centre et capitale politique du Cameroun et se trouve entre 3°30'-3°58' de latitude Nord et 11°20'-11°40' de longitude Est (Apouamoun, 2006).

Cette ville est située à près de 750 m d'altitude et bénéficie d'un climat équatorial forestier à quatre saisons (Tanawa *et al.*, 2002) réparties comme suit : une grande saison sèche qui s'étend de novembre à février, une petite saison de pluies qui va de mars à juin, une petite saison sèche qui couvre la période allant de juillet à août et une grande saison de pluies qui s'étend de septembre à octobre. Ce climat est caractérisé par l'abondance des précipitations à caractère bimodal atteignant parfois 1650 mm/an, et une température moyenne de 23°C. En effet, les températures varient de 18°C à 28°C en saison humide et de 16°C à 31°C en saison sèche (Suchel, 1987).

Le réseau hydrographique est très dense et essentiellement constitué du Mfoundi et de ses affluents notamment l'Ekooza, l'Abiergue, le Mingoa, le Djoungolo et la Biyéme. Le Mfoundi prend sa source sur les flancs du mont Fébé et coule d'Ouest en Est suivant le relief. Il est alimenté par le Tongolo et le Ntem (affluents) venus du Nord et se dirige vers le Sud (Franqueville, 1984).

Les sols proviennent d'un matériau quartzo-feldspathique plus ou moins micacé (Apouamoun, 2006) et se déclinent en trois types : les sols ferrallitiques situés au sommet des interfluves et en bas des pentes, les sols hydromorphes dans les vallées marécageuses et les sols peu évolués sur les reliefs montagneux à forte pente (Temgoua & Mengue, 2022).

Pour la réalisation de ce travail, trois sites ont été retenus et 12 stations d'échantillonnage choisies (Figure 7) en tenant compte des critères tels que l'accessibilité, l'épaisseur de la colonne d'eau, les activités anthropiques et les microhabitats. Un récepteur GPS de marque Garmin MAP 76 a été utilisé pour la détermination des coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude) des points de prélèvement.



**Figure 7 :** Carte hydrographique de la zone d'étude montrant les stations d'échantillonnage (Source : Fond topographique de la région de Yaoundé, 1/50000 INC, 1980).

## II.1.2. Description des sites d'étude et des stations d'échantillonnage

### II.1.2.1 Le site d'Ezazou

Ezazou est un village de la périphérie de Yaoundé situé dans la commune de Yaoundé IV entre le carrefour Tropicana et le carrefour de l'Amitié. Ce bas-fond est sillonné par 3 principaux cours d'eau dénommés le Nkié, l'Odza (le principal) et le Missolé. Les potentielles sources de pollution sont de légères activités domestiques et l'activité maraîchère qui est intensément pratiquée, surtout autour des trois premières stations d'échantillonnage. Dans ce site, les populations se sont organisées en GIC pour exploiter les bas-fonds pour les cultures maraîchères.

En effet, on y note une polyculture avec pour principales plantes : *Amaranthus viridis* (amarante ou folon), *Apium graveolens* (céleri), *Lactuca sativas* (laitue), *Ocimum basilicum* (basilic) et *Solanum nigrum* (morelle noire ou zom). Pour améliorer les récoltes, les cultivateurs utilisent fréquemment des pesticides (tels le Cyperfresh et le Cypercot), des engrais chimiques (dont l'Agrovert, le Foligad et le N-force plus) ainsi que des engrais organiques (tels les fientes de poule). Dans ce site dont le principal cours d'eau est l'Odza, 4 stations d'échantillonnage désignées Od 1, Od 2, Od 3 et Od 4 ont été fixées (Figure 8).

#### ✓ Station Od 1

La station Od 1 (Figure 8A) a pour coordonnées géographiques 03°49'47,6'' de latitude Nord et 11°31'49,4'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 696 m et à environ 300 m de la source. La végétation est constituée essentiellement de *Commelina benghalensis* (très abondante) et d'*Echinochloa pyramidalis*. Les maisons d'habitation sont assez éloignées. Non loin de cette station, les populations pratiquent souvent la lessive.

#### ✓ Station Od 2

La station Od 2 (Figure 8B) a pour coordonnées géographiques 03°49'38,1'' de latitude Nord et 11°31'51,1'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 689 m et la végétation est essentiellement constituée d'*Echinochloa pyramidalis* (très représentée) et de *Commelina benghalensis*. Près de cette station, traîne très souvent les restes de sacs de fientes de poule épandues sur les cultures.

#### ✓ Station Od 3

La station Od 3 (Figure 8C) a pour coordonnées géographiques 03°49'33,6'' de latitude Nord et 11°31'55,8'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 691 m et la végétation

est constituée d'*Alternanthera sessilis* (très représentée) et de *Commelina benghalensis*. Non loin de cette station, on retrouve quelques habitations et leurs latrines artisanales.

#### ✓ **Station Od 4**

La station Od 4 (Figure 8D) a pour coordonnées géographiques 03°49'29,7'' de latitude Nord et 11°31'49,7'' de longitude Est, avec une altitude de 688 m. La végétation y est constituée d'espèces végétales telles que *Costus afer* (très représentée) et *Alchonea cordifolia*. Cette station est très peu fréquentée et les alentours ne sont pas exploités pour le maraîchage intensif. On y note quelques arbres fruitiers et des bananiers.

### **II.1.2.2. Le site de Ngoa-ékellé**

Ngoa-ékellé est un quartier situé dans la commune de Yaoundé III. Ce site est limité au nord par le quartier Melen, au Sud par Olézoa, à l'Est par le centre administratif et à l'Ouest par Mvolyé. Le cours d'eau Olézoa qui arrose cette zone traverse les résidences universitaires et reçoit les eaux usées des latrines environnantes, des laveries de voitures et des garages. De tous les sites, il est le plus peuplé, plus particulièrement par les étudiants. Dans ce site arrosé par le cours d'eau Olézoa, quatre stations d'échantillonnage ont également été choisies : Ole 1, Ole 2, Ole 3 et Ole 4 (Figure 8).

#### ✓ **Station Ole 1**

La station Ole 1 (Figure 8E) a pour coordonnées géographiques 03°50'53,5'' de latitude Nord et 11°30'08,1'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 710 m et la végétation y est constituée d'espèces végétales telles que *Ipomea aquatica* (plus représentée) et *Echinochloa pyramidalis*. Cette station est située sur la bretelle reliant l'Université de Yaoundé I à l'Ecole Polytechnique. L'eau paraît très claire et laisse voir de jolies plantes qui se développent à l'intérieur. Plusieurs arbres créent une ombre assez importante dans le site. Une habitation est située juste à quelques mètres.

#### ✓ **Station Ole 2**

La station Ole 2 (Figure 8F) a pour coordonnées géographiques 03°51'06,2'' de latitude Nord et 11°29'44'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 724 m et la végétation y est constituée d'espèces végétales telles que *Ipomea aquatica* (plus représentée) et *Echinochloa pyramidalis*. Cette station est située non-loin des étangs piscicoles d'Obili. Un pont dit « pont d'Obili » passe au-dessus des eaux. Le mur de soutènement d'un petit bâtiment d'habitation est mitoyen aux eaux. De grosses roches émergent de l'eau et créent une petite pente.

### ✓ Station Ole 3

La station Ole 3 (Figure 8G) a pour coordonnées géographiques 03°51'22,7'' de latitude Nord et 11°29'44'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 721 m et la végétation y est constituée essentiellement de l'espèce végétale *Tithonia diversifolia*. Cette station est située près du lieu-dit « Carrefour parlement », non-loin d'un garage d'automobiles et d'une porcherie ; les habitations sont très rapprochées de l'eau ainsi que leurs fosses d'aisance.

### ✓ Station Ole 4

La station Ole 4 (Figure 8H) a pour coordonnées géographiques 03°51'36,7'' de latitude Nord et 11°29'47,6'' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 724 m et la végétation y est constituée d'espèces végétales telles que *Ipomea aquatica* (plus représentée), *Echinochloa pyramidalis* et *Alchonea cordifolia*. Cette station est située à l'école de Postes, non-loin d'une cité estudiantine appelée « Cité des nations ». Aux environs de la station se trouvent une laverie d'automobiles, un champ de cultures et une poubelle.

### II.1.2.3. Le site d'Ahala

Ahala est un quartier de la ville de Yaoundé, situé à son entrée Ouest, sur l'axe lourd Yaoundé-Douala. Il est entouré par les quartiers Nomayos, Afanayo, Mvan et Simbock. Dans ce site situé non-loin du lycée et de la chefferie traditionnelle de 3<sup>ème</sup> degré d'Ahala, la population n'est pas très abondante et les habitations sont assez reculées de l'eau. La zone est en cours d'aménagement. On note les travaux de l'autoroute Yaoundé-Douala qui influencent fortement le site avec des déviations d'eau et des remblais de terre. Le principal cours d'eau qui traverse cette zone est le Mfoundi. Ce site abrite 4 stations d'échantillonnage désignées Mfo 1, Mfo 2, Mfo 3 et Mfo 4 (Figure 8).

### ✓ Station Mfo 1

La station Mfo 1 (Figure 8I) a pour coordonnées géographiques 03° 48'01,1'' de latitude Nord et 11° 30'24'' de longitude Est avec une altitude de 676 m. La végétation est constituée d'espèces végétales telles que *Cyperus esculentus* (très abondante) et *Echinochloa pyramidalis*. Les remblais de terre étaient très fréquents dans cette zone et l'épaisseur de l'eau diminuait drastiquement au fil du temps.

### ✓ Station Mfo 2

La station Mfo 2 (Figure 8J) a pour coordonnées géographiques 03° 47'52,7'' de latitude Nord et 11° 30'21,3'' de longitude Est avec une altitude de 682 m. La végétation est constituée

d'espèces végétales telles que *Echinochloa pyramidalis* (très abondante), *Alchonea cordifolia* et *Chromolaena odorata* (minoritaire). Au-dessus de l'eau, on remarquait généralement une couche huileuse jaunâtre. On note une église de réveil à une dizaine de mètres de la station et parfois des excréments sur la berge adjacente.

✓ **Station Mfo 3**

La station Mfo 3 (Figure 8K) a pour coordonnées géographiques 03° 47'31,8'' de latitude Nord et 11° 30'11,7'' de longitude Est avec une altitude de 678 m. la végétation est constituée d'espèces végétales telles qu'*Echinochloa pyramidalis* (très abondante) et *Commelina benghalensis*. Près de cette station se trouve une petite ferme avicole.

✓ **Station Mfo 4**

La station Mfo 4 (Figure 8L) a pour coordonnées géographiques 03° 47'37,4'' de latitude Nord et 11° 30'01,2'' de longitude Est avec une altitude de 673 m. La végétation est constituée d'espèces végétales telles que *Ipomea aquatica* (plus représentée), *Echinochloa pyramidalis* et *Persicaria* sp (peu représenté). Cette station est située à l'arrière d'un bâtiment fait de studios (minicité).



**Figure 8 :** Vue partielle des stations d'échantillonnage : Ezazou (A= Od 1, B= Od 2, C= Od 3, D = Od 4) ; Ngoa-ékellé (E= Ole 1, F = Ole 2, G= Ole 3, H= Ole 4) ; Ahala (I = Mfo 1, J = Mfo 2, K= Mfo 3 et L= Mfo 4)

## II.2. METHODES

Les échantillonnages d'eau et des macroinvertébrés benthiques se sont déroulés de Juillet 2019 à juillet 2020 suivant une fréquence mensuelle.

### II.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de APHA (1998) et Rodier *et al.* (2009).

#### ❖ Sur le terrain

Sur le terrain, les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité électrique, le dioxygène dissous, les orthophosphates, la dureté calcique et les formes d'azote ont été mesurés

##### ➤ Température

La température est mesurée sur le terrain à l'aide d'un multimètre de marque HANNA HI 98130 et les résultats sont exprimés en degrés Celsius (°C).

##### ➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs de pH sont déterminées sur le terrain à l'aide d'un multimètre de marque HANNA HI 98130 et les résultats exprimés en unités conventionnelles (UC).

##### ➤ Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique est faite sur le terrain à l'aide d'un multimètre de marque HANNA HI 98130. Les résultats sont exprimés en microsiemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

##### ➤ Oxygène dissous

Quant à l'oxygène dissous, ses teneurs sont évaluées sur le terrain à partir d'un oxymètre de marque HANNA modèle HI 9147-04 et les valeurs exprimées en pourcentage de saturation en oxygène.

##### ➤ Dureté calcique

La dureté calcique est mesurée par spectrophotométrie à l'aide d'un Wagtech de marque Palintest Photometer 7500. Les réactifs utilisés sont les calcicol 1 et 2 et le témoin correspond ici à l'eau de l'échantillon proprement dit. En effet, un volume de 10 ml de l'échantillon d'eau est introduit dans une cellule spectrophotométrique, on y ajoute un comprimé de Calcicol 1 jusqu'à dissolution complète ; une minute plus tard, on ajoute un deuxième comprimé Calcicol

2, on laisse reposer pendant 10 min pour développement complet. La lecture se fait au spectrophotomètre à 60 nm de longueur d'onde et les résultats sont exprimés en mg/L d'ions calcium.

➤ **Orthophosphates**

Les mesures des teneurs en orthophosphates sont faites par spectrophotométrie à l'aide d'un Wagtech de marque Palintest Photometer 7500 en utilisant comme réactif du phosphate HR et avec pour témoin, l'eau de l'échantillon proprement dit. En effet, un volume de 10 ml de l'échantillon d'eau est introduit dans une cellule spectrophotométrique, on y ajoute une pastille de phosphate HR jusqu'à dissolution complète ; on laisse reposer pendant 10 min pour développement complet. La lecture se fait au spectrophotomètre à 70 nm de longueur d'onde et les résultats sont exprimés en mg/L de phosphates.

➤ **Formes d'azote**

Les trois principales formes d'azote (nitrites, nitrates et azote ammoniacal) sont évaluées par spectrophotométrie à l'aide d'un Wagtech de marque Palintest Photometer 7500. Pour chacune de ces formes d'azote, le témoin correspond ici à l'eau de l'échantillon proprement dit.

▪ **Nitrates**

A 20 mL d'eau de l'échantillon, on ajoute une cuillère de Nitratest Powder et un comprimé de Nitratest tablet puis on secoue le mélange jusqu'à dissolution complète du comprimé. On laisse reposer la solution pour décantation. On remplit ensuite une cellule spectrophotométrique de 10 mL du surnageant et on ajoute un comprimé de Nitricol puis on remue pour dissolution. On attend 10min jusqu'à développement complet de la coloration et on lit au spectrophotomètre Wagtech à 63 nm de longueur d'onde. Le résultat est donné en mg/L de nitrates.

▪ **Nitrites**

A 10 ml d'échantillon d'eau introduit dans une cellule spectrophotométrique, on ajoute un comprimé de Nitricol (réactif). Après dissolution, on laisse reposer pendant 10 min pour développement complet de la couleur. La lecture se fait au spectrophotomètre à 64 nm de longueur d'onde. Le résultat est donné en mg/L de nitrites.

▪ **Azote ammoniacal**

A 10 ml d'échantillon d'eau introduit dans une cellule spectrophotométrique, on ajoute un comprimé de Ammonia 1 (réactif). Après dissolution, on laisse reposer pendant 1min, puis on ajoute un deuxième comprimé Ammonia 2 (réactif). On laisse reposer pendant 10 min pour

développement complet de la couleur puis on lit au spectrophotomètre à 62 nm de longueur d'onde. Le résultat est donné en mg/L d'azote ammoniacal.

#### ❖ **Au laboratoire**

Pour les mesures effectuées au laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés, à chaque station d'échantillonnage, à l'aide des flacons en polyéthylène à double bouchage de 250 mL et 1000 mL, sans faire de bulles et transportés en enceinte réfrigérée. Les paramètres mesurés au laboratoire sont : les matières en suspension, la couleur, la turbidité, le gaz carbonique, l'alcalinité et l'oxydabilité.

##### ➤ **Matières en suspension**

Les teneurs en matières en suspension (MES) sont mesurées par colorimétrie au laboratoire par lecture directe au spectrophotomètre de marque HACH DR/2010 à la longueur d'onde  $\lambda = 810$  nm. Les résultats sont exprimés en mg/L.

##### ➤ **Couleur et Turbidité**

Les valeurs de la couleur et de la turbidité sont déterminées au laboratoire par colorimétrie au spectrophotomètre de marque HACH DR/2010 aux longueurs d'ondes  $\lambda = 455$  nm et  $\lambda = 450$  nm respectivement et les résultats exprimés en unité platini-cobalt (U Pt-Co) et Formazin Turbidity Unit (FTU) respectivement.

##### ➤ **Gaz carbonique dissous (CO<sub>2</sub>)**

Les teneurs en gaz carbonique dissous sont obtenues en deux étapes : en effet, sur le terrain, le CO<sub>2</sub> est fixé en introduisant dans une fiole jaugée de 200 mL, 20 mL de soude N/20, 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine et l'échantillon d'eau brute jusqu'au trait de jauge. Le mélange obtenu, de coloration rose, est minutieusement conservé dans un flacon en polyéthylène à double bouchage de 250 mL. Une fois au laboratoire, un volume de 50 mL de cette solution est titré avec de l'acide chlorhydrique N/10 jusqu'à décoloration complète et les résultats sont exprimés en mg/L suivant la formule :

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/L)} = (\text{Témoin} - \text{descente de burette}) \times 17,6$$

##### ➤ **Alcalinité**

L'alcalinité est déterminée par volumétrie en titrant 50 mL d'échantillon d'eau avec de l'acide sulfurique N/50 en présence du rouge vert de méthyl bromocrésol. La fin de réaction s'accompagne du virage de la solution du vert au gris. Les résultats exprimés en mg/L d'ions bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont obtenus par la formule :

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

### ➤ Oxydabilité

L'oxydabilité est mesurée par volumétrie. Ainsi dans un erlenmeyer contenant 200 mL d'échantillon d'eau porté à ébullition, on introduit 2 mL de carbonate monosodique puis 20 mL de permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>) N/80 qui colore le mélange en violet clair. Dix minutes plus tard, l'erlenmeyer est ôté du feu puis refroidi au robinet à grande eau. Ensuite on ajoute au mélange ainsi refroidi 5 ml d'acide sulfurique 25% et 20 ml de sel de Mohr. Le mélange incolore obtenu est titré par une solution de KMnO<sub>4</sub> N/80 jusqu'à apparition de la coloration rose. Les valeurs exprimées en mg/L d'oxygène sont obtenues par la formule :

$$\text{Oxydabilité (mg/L d'O}_2\text{)} = q - q_0 / 2$$

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

## II.2.2. Echantillonnage et identification des macroinvertébrés benthiques

### II.2.2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage des macroinvertébrés a été fait suivant l'approche multi-habitat en utilisant un troubleau de forme carrée de 30 cm de côté, muni d'un filet conique de 400  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille et de 50 cm de profondeur (Moisan et Pelletier, 2008). Les coups de filet sont effectués en faciès lentique et lotique. A chaque station, une vingtaine de traits est réalisée sur environ 50 cm de long, équivalent à une surface d'environ 3 m<sup>2</sup> (Touzin, 2008). Des mouvements de va-et-vient à la surface des herbiers permettent de déloger les organismes. Ceux retenus par les mailles du troubleau sont collectés à l'aide de pinces fines, puis introduits délicatement dans des piluliers contenant une solution de formol 10%.

### II.2.2.2. Identification et dénombrement

Au laboratoire, le contenu des flacons a été transvasé dans un autre tamis de 400  $\mu\text{m}$  de maille, puis rincé à l'eau courante pour éliminer le formol. Les organismes ont ensuite été regroupés dans des boîtes de Pétri sur la base de leurs caractères morphologiques, puis identifiés jusqu'au plus petit rang taxonomique possible, sous une loupe binoculaire à éclairage épiscopique de marque WILD M3B et BRESSER HG 878513 en se servant des clés et ouvrages d'identification proposés par Durant et Levêque (1991), Day *et al.*, (2002), Hidermann et Seidenbusch (2002), De Moor *et al.*, (2003), Moisan (2006) et Tachet *et al.*, (2010).

### II.2.3. Analyse des données et tests statistiques

Les logiciels et tableurs EXCEL, XL-STAT 2010, RStudio, EstimateS, MATLAB, SAS, Statistica, SPSS 20.0 et Past 3 ont été utilisés pour concevoir des tableaux, schémas, courbes, graphiques et diagrammes.

#### II.2.3.1. Indice de pollution Organique (IPO)

L'indice de pollution Organique (Leclercq, 2001) a été calculé pour rendre compte du degré de pollution organique des eaux dans les différentes stations d'échantillonnage. Plus la valeur de l'IPO est élevée plus le niveau de pollution organique est faible. Le calcul de cet indice est basé sur trois paramètres ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ ) qui sont des dérivés de la matière organique. Pour chacun de ces paramètres, 5 classes de teneurs ayant une signification écologique sont définies et l'IPO correspond à la moyenne des numéros de classe de chaque paramètre et les valeurs obtenues sont réparties en 5 niveaux de pollution (Tableau I).

**Tableau I :** Limites des classes de l'IPO et interprétation de la moyenne des classes (Leclercq, 2001).

Paramètres Classes	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g/L}$ )	$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{g/L}$ )	Moyennes des classes	Niveau de pollution organique
5	< 0,1	$\leq 5$	$\leq 15$	4,6 – 5,0	Nulle
4	0,1 - 0,9	6 – 10	16 – 75	4,0 - 4,5	Faible
3	1 - 2,4	11 – 50	76 – 250	3,0 - 3,9	Modérée
2	2,5 - 6	51 – 150	251 -90	2,0 - 2,9	Forte
1	> 6	> 150	> 900	1,0-1,9	Très forte

#### II.2.3.2. Richesse taxonomique et abondance du peuplement

La richesse spécifique (S) désigne le nombre total d'espèces recensées dans un milieu et à un moment donné. Elle permet ainsi d'évaluer un milieu du point de vue qualitatif, renseignant ainsi sur sa capacité d'accueil (Adandedjan, 2012, Boulinier *et al.*, 1998) et sur la variabilité des niches écologiques d'une station (Alliaume *et al.* 1990). Parlant de l'abondance, elle désigne le nombre d'individus (N) d'une espèce ou d'un groupe taxonomique dans un prélèvement donné.

### II.2.3.3. Coefficient de similarité de Sorensen (1948)

Le coefficient de similarité de Sorensen a été utilisé pour calculer le taux de similitude des peuplements de macroinvertébrés benthiques des stations d'échantillonnage prises deux à deux ; il est obtenu par la formule :

$$S = \frac{2c}{(a+b)} \times 100 \quad \text{où}$$

a = nombre de taxons dans la station 1,

b = nombre de taxons dans la station 2,

c = nombre de taxons communs aux deux stations.

### II.2.3.4. Indice de diversité H' de Shannon et Weaver (1949)

L'indice de diversité de Shannon et Weaver a permis de mesurer la diversité taxonomique et de rendre compte de la structuration du peuplement. Sa formule est :

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

où  $n_i$  = effectif du taxon  $i$  dans l'échantillon,  $N$  = effectif total d'individus,

$S$  = nombre total de taxons dans l'échantillon.

L'indice  $H'$  tend vers 0 lorsqu'on est en présence d'une seule espèce dominante et vers  $\log_2 S$  lorsque toutes les espèces ont presque la même abondance (Levêque et Balian, 2005).

### II.2.3.5. L'équitabilité (J) de Piélou (1966)

L'équitabilité représente le rapport entre la diversité observée sur le terrain et sa valeur théorique maximale. Elle a permis de déterminer le degré de dominance d'un taxon face aux autres. Sa formule est :

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad \text{où}$$

$H'$  = Indice de Shannon et Weaver et

$S$  = nombre total d'espèces.

L'équitabilité tend vers 0 lorsque la quasi-totalité des effectifs du peuplement est concentrée sur une seule espèce et vaut 1 lorsqu'il y a équirépartition des individus dans le peuplement.

### II.2.3.6. 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). Selon la valeur de F, on distingue :

- Les espèces omniprésentes qui apparaissent dans tous les relevés (100 %) ;
- les espèces régulières, présentes dans 75 à < 100 % des relevés ;
- Les espèces constantes, présentes dans 50 à < 75 % des relevés ;
- les espèces accessoires présentes dans 25 à < 50 % des relevés
- et les espèces rares présentes dans moins de 25 % des relevés (Dufrêne & Legendre, 1997).

Cet indice est basé sur la matrice de présence/absence et se calcule selon la relation :

$$F = P_i \times 100 / P_t$$

dans laquelle  $P_t$  est le nombre total de prélèvement  
et  $P_i$  le nombre de prélèvement où l'espèce  $i$  est présente.

### II.2.3.7. Analyses univariées

Pour nos analyses, la normalité des données a été vérifiée avant le choix du test statistique approprié. En effet, le test de Kolmogorov-Smirnov a indiqué que les données ne suivaient pas une distribution normale, d'où les tests non-paramétriques utilisés.

- **Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman**

Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman a été calculé pour mesurer les degrés de liaison entre les variables abiotiques d'une part, et entre les variables abiotiques et biologiques d'autre part. Ce coefficient se calcule selon la formule :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$$

*Avec  $n$  = nombre total d'observations ;  
 $d_i$  = différence entre les rangs des deux séries de mesures considérées*

- **Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (test H)**

Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour vérifier sur le plan spatial et saisonnier, 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.

Chaque fois que le test de Kruskal-Wallis a montré une différence significative entre les variances des échantillons comparés, le test de comparaison multiple de rangs ou le test U de

Mann-Whitney a été utilisé pour une comparaison deux à deux, afin d'isoler les échantillons qui diffèrent significativement.

### **II.2.3.8. Analyses multivariées**

#### **▪ Analyse en Composantes Principales (ACP)**

L'ACP est une méthode multivariée d'ordination qui s'applique à un ensemble de variables numériques dans le but de créer, à partir de combinaisons linéaires des variables initiales, de nouvelles variables synthétiques non-corrélées entre elles et des variances décroissantes appelées composantes principales (Legendre et Legendre, 1979). Cette analyse permet ainsi de visualiser les ressemblances entre les observations et les liaisons entre les variables (Feuillade, 1972 ; Carrel *et al.*, 1986 ; Dolédec et Chessel, 1994).

Dans cette étude, l'ACP a été effectuée pour établir la typologie abiotique et biotique des stations sur la base de l'ensemble des paramètres environnementaux mesurés et des échantillons de macroinvertébrés benthiques identifiés à chaque station (Philippeau, 1992). La matrice de données est composée des échantillons « n » en ligne sur lesquels sont mesurés des variables quantitatives « p » disposées en colonnes. Le logiciel XLSTAT 2007 a été utilisé pour cette analyse.

#### **▪ Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)**

L'objectif de l'analyse de classification hiérarchique (ACH) est de rassembler des objets (ici les échantillons de macroinvertébrés) dans des classes de plus en plus larges, sur la base de certaines mesures de similarité ou de dissimilarité (la distance euclidienne). Les résultats de ce type de classification sont habituellement représentés sous la forme d'un dendrogramme. Cette méthode se distingue de toutes les autres par le fait qu'elle utilise une analyse de variance approchée afin d'évaluer les distances entre les classes (Ward, 1963).

Dans ce travail, l'ACH a permis de regrouper les stations en fonction d'une part, de leurs similarités abiotiques, et d'autre part, en fonction de la similarité des peuplements de macroinvertébrés sur la base des abondances moyennes des taxa. La distance euclidienne a été employée (Williams *et al.*, 1971) et la méthode de Ward utilisée comme critère d'agrégation (Ihaka et Gentleman, 1996).

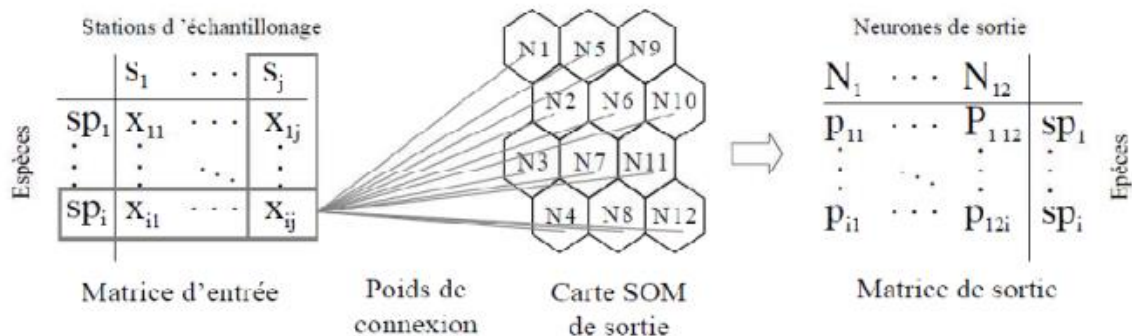
#### **▪ Cartes auto-organisatrices**

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, 2001).

La SOM se compose habituellement de deux couches de neurones (entrée et sortie). La couche d'entrée est la matrice d'abondance des taxa (Figure 9). Elle est directement reliée à une couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen, composée de neurones artificiels de sortie ou nœuds. 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).

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). L'interface SOM Toolbox (version 6.1) pour Matlab a été utilisée pour la réalisation de la SOM (Figure 9).



**Figure 9** : Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice (SOM). La matrice ou couche d'entrée contient les données d'abondance ( $X_{ij}$ ) pour chaque station d'échantillonnage ( $S_j$ ). Une fois que la SOM a trouvé les poids de connexion ( $P_{ij}$ ) en erreur minimale d'apprentissage, on obtient la carte et la matrice de sortie (d'après Aguilar Ibarra *et al.*, 2005).

- **Méthode valeur indicatrice (IndVal)**

La méthode Valeur Indicatrice ou "Indicative Value" (IndVal) a été utilisée pour la détermination des espèces caractéristiques des groupes formés suite à l'analyse SOM du peuplement de macroinvertébrés benthiques. Cette méthode repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce (Dufrêne & Legendre, 1997). Elle révèle particulièrement bien si une espèce est liée à un type d'habitat. Elle combine la fidélité des espèces (proportion de sites d'un groupe où l'espèce est présente) et leur spécificité (à quel point une espèce ne se trouve que dans le groupe considéré). Elle permet non seulement de caractériser les espèces une à une,

indépendamment les unes des autres, mais aussi de tester l'existence d'espèces spécialistes (présentes dans une gamme restreinte de sites) et d'espèces dites «ubiquistes», ou «généralistes» (présentes dans tous les milieux avec une forte abondance et une fréquence d'occurrence élevée).

La première étape de cette analyse qui consiste en la définition des typologies des sites s'est faite en s'appuyant sur les résultats de la SOM appliquée à la matrice d'abondance des taxa de macroinvertébrés benthiques. La seconde étape de l'analyse revient à identifier les espèces (ou taxa) indicatrices correspondant aux divers groupes. Les espèces indicatrices se définissent comme les espèces les plus caractéristiques de chaque groupe, trouvées la plupart du temps dans un seul groupe de la typologie et présentes dans la majorité des sites appartenant à ce groupe. Ainsi, pour chaque espèce  $i$  dans chaque groupe de relevés  $j$ , la valeur indicatrice se détermine selon la formule ci-dessous :

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

$A_{ij}$  est la moyenne des abondances de l'espèce  $i$

$B_{ij}$  est la fréquence relative d'occurrence de l'espèce  $i$

Pour un niveau de classification des relevés en différents groupes, la valeur indicatrice de l'espèce est la plus grande valeur de l'IndVal observée pour un des groupes. La valeur indicatrice d'une espèce est optimale lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales. La spécificité est maximale (100%) lorsque l'espèce n'est rencontrée que dans un seul groupe. Quant à la fidélité, elle est plus élevée (100%) lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'un groupe. Pour une espèce donnée, l'indice IndVal varie entre 0 % (aucune affinité) et 100 % (forte affinité, donc les individus d'une espèce sont observés dans tous les sites d'un seul groupe).

Une espèce est retenue comme indicatrice si la valeur IndVal est supérieure ou égale à 25% (Dufrêne & Legendre, 1997) ou si le test- $t$  de permutation est significatif (Nahmani et Rossi, 2003). Pour les espèces dites généralistes, la valeur indicatrice est maximale quand la totalité (ou la quasi-totalité) des relevés sont rassemblés en un seul groupe d'un niveau de typologie bas. Cette valeur diminue au fur et à mesure que l'on subdivise ce groupe en 2, puis en plusieurs groupes. Une espèce est dite spécialiste lorsque les plus fortes valeurs indicatrices sont observées pour les niveaux de groupements élevés. De telles espèces caractérisent écologiquement bien les groupes.

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

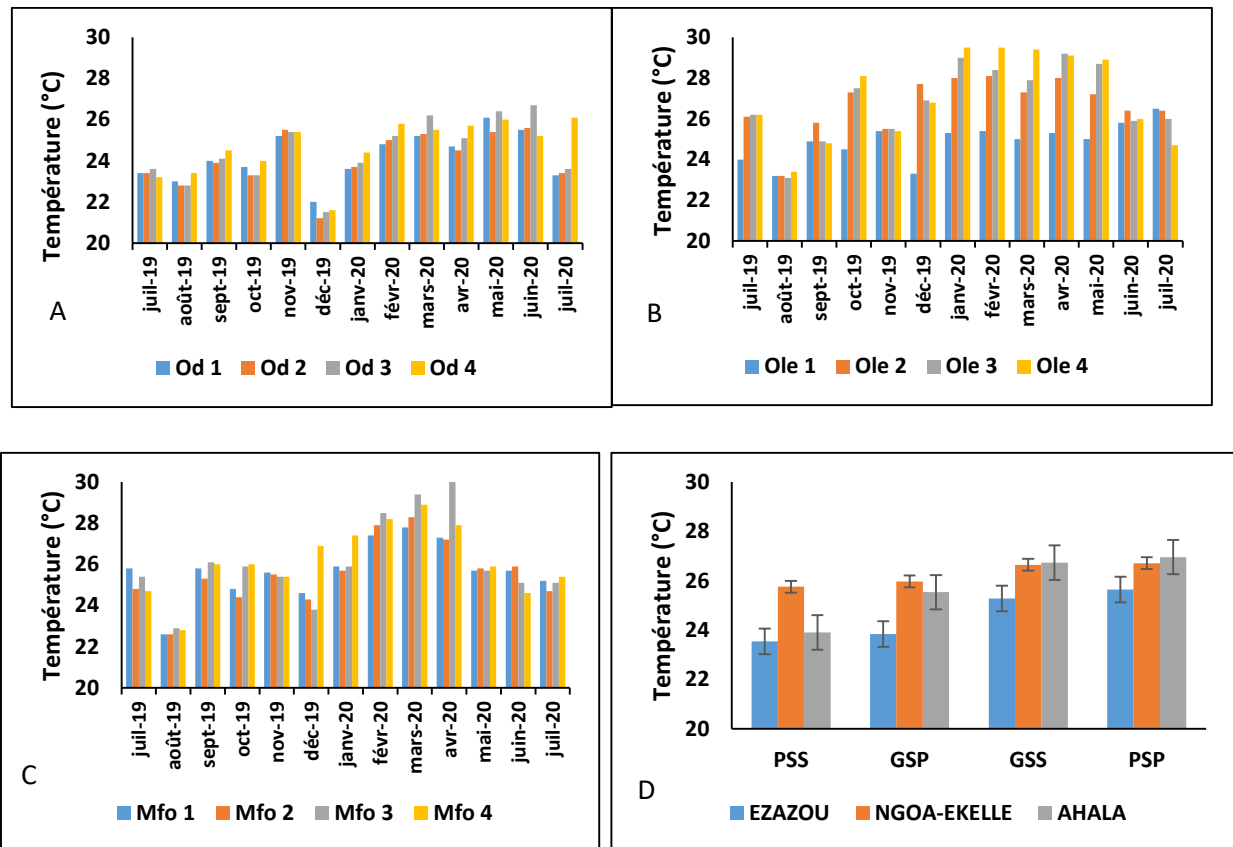
## **III.1. RESULTATS**

### **III.1.1. Variables physico-chimiques**

#### **III.1.1.1. Température**

La température des eaux dans le site d'Ezazou (Figure 10A) a varié entre 21, 2°C (Od 2 en Décembre) et 26,7°C (Od 3 en Juin) sans différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) et les valeurs ont oscillé autour d'une moyenne de  $24,35 \pm 0,27^\circ\text{C}$ . Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 10B), la température a varié entre 23,1°C (Ole 3 en Août) et 29, 5°C (Ole 4 en Janvier et Février) avec une moyenne de  $26,31 \pm 0,98^\circ\text{C}$ . Des différences significatives ont été observées entre la station Ole 1 et les stations Ole 2, Ole 3 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 10C), la température a varié entre 22,6°C (Mfo 1 et Mfo 2 en Aout) et 29,4°C (Mfo 3 en Mars) sans différence significative d'une station à l'autre et les valeurs ont oscillé autour d'une moyenne de  $25,88 \pm 0,29^\circ\text{C}$ . Dans l'ensemble, la température a été significativement plus élevée à Ngoa-ékellé qu'à Ezazou ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de la température (Figure 10D) ont varié de  $23,55 \pm 0,56^\circ\text{C}$  en Petite Saison Sèche (PSS) à Ezazou à  $26,96 \pm 0,81^\circ\text{C}$  en Petite Saison de Pluies (PSP) à Ahala. Dans l'ensemble, le site d'Ezazou a présenté les températures les plus basses et le site de Ngoa-ékellé les températures les plus élevées. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

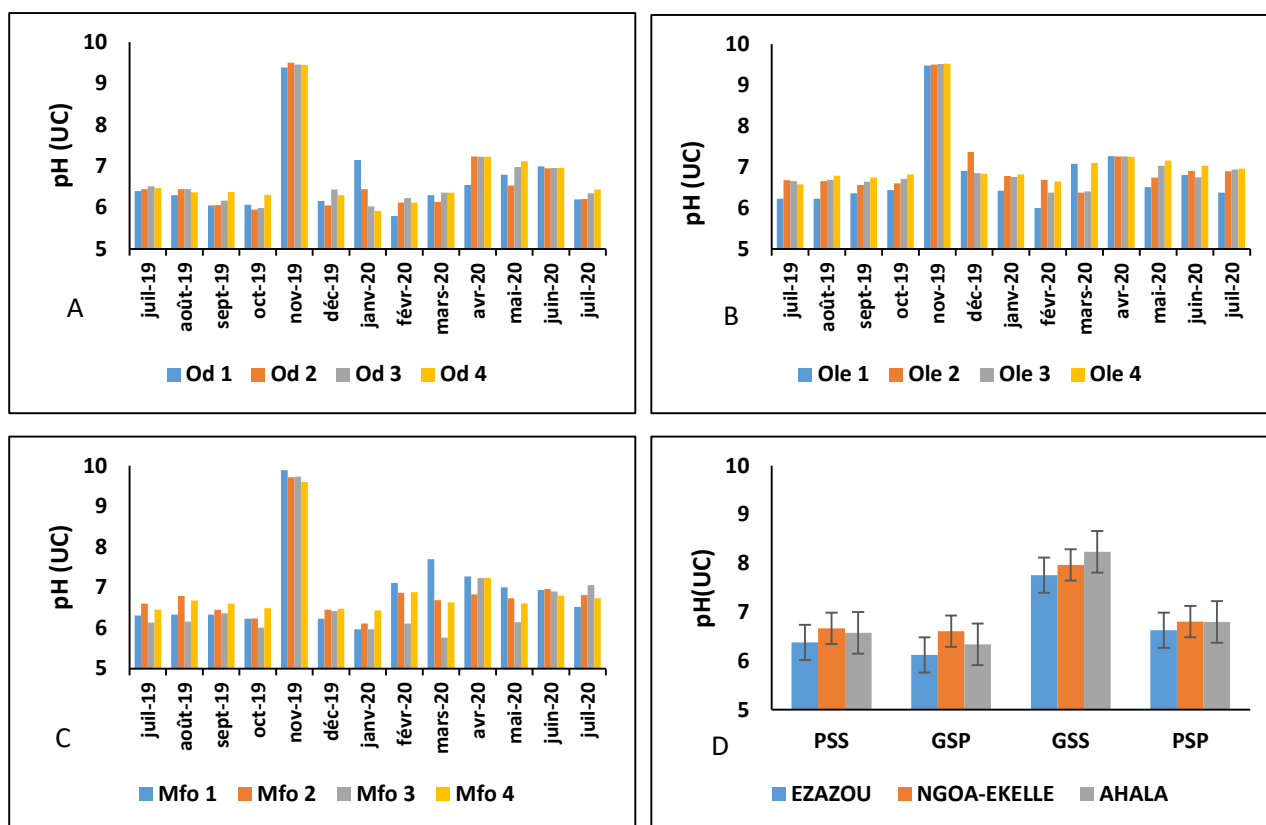


**Figure 10 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la température des eaux pendant la période d'étude

### II.1.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Dans le site d'Ezazou (Figure 11A) le pH des eaux a varié entre 5,8 UC (Od 1 en Février) et 9,51 UC (Od 2 en Novembre) sans différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $8,04 \pm 0,14$  UC. Dans le site de Ngoa-ékellé (Figure 11B), le pH a varié entre 6 UC (Ole 1 en Février) et 9,53 UC (Ole 4 en Novembre) sans différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $8,43 \pm 0,07$  UC. Au niveau de Ahala (Figure 11C), le pH a varié entre 5,76 UC (Mfo 3 en Mars) et 9,89 UC (Mfo 1 en Novembre) sans différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $6,82 \pm 0,14$  UC. L'analyse des valeurs montre que le pH a été significativement plus élevé dans le site de Ngoa-ékellé ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de pH (Figure 11D) ont varié de  $6,12 \pm 0,16$  UC en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ezazou à  $8,24 \pm 1,42$  UC en GSS (Grande Saison Sèche) à Ahala. Dans l'ensemble, le site d'Ezazou a présenté les valeurs les plus faibles et le site de Ngoa-ékelle les valeurs les plus élevées. Toutefois, aucune différence significative n'a été relevée d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

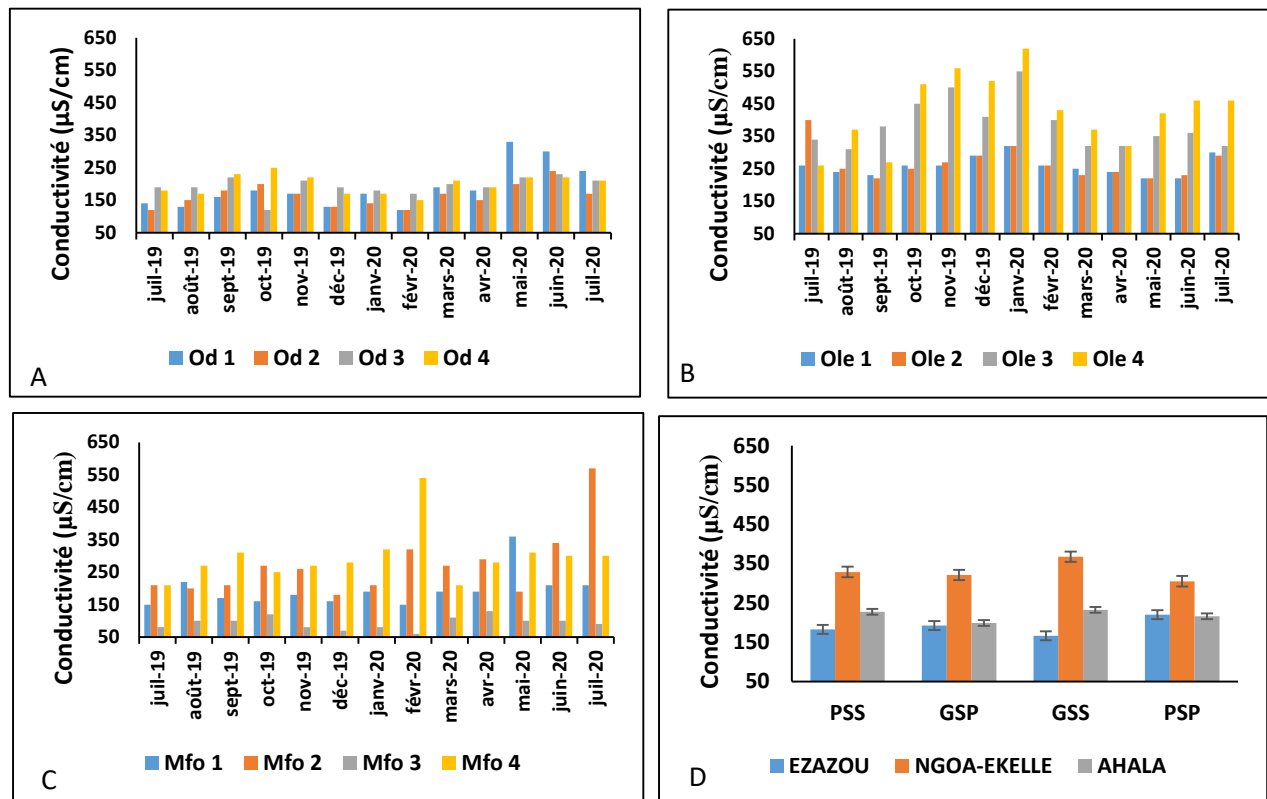


**Figure 11 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) du pH des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.3. Conductivité électrique

Dans le site d'Ezazou (Figure 12A), la conductivité électrique a varié entre 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Od 1, Od 2 et Od 3) et 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Od 1 en Mai) avec une moyenne de  $186,35 \pm 15,23 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Des différences significatives ont été observées entre les stations Od 2 et Od 3 puis entre Od 2 et Od 4 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékellé (Figure 12B), la conductivité électrique a varié entre 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ole 1 et 2 en Mai 2020) et 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ole 4 en Janvier 2020) avec une moyenne de  $334,61 \pm 85,41 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Des différences significatives ont été observées entre les stations Ole 1 et Ole 3, Ole 1 et Ole 4, Ole 2 et Ole 3 puis entre Ole 2 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 12C), la conductivité électrique a varié entre 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Mfo 3 en Février 2020) et 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Mfo 2 en Juillet 2020) avec une moyenne de  $214,04 \pm 90,84 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Des différences significatives ont été observées entre les stations Mfo 1 et Mfo 2, Mfo 1 et Mfo 3, Mfo 1 et Mfo 4, Mfo 2 et Mfo 3 et enfin entre Mfo 3 et Mfo 4 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, des différences significatives ont été observées entre les sites d'Ezazou et d'Ahala ( $p < 0,05$ ), d'Ezazou et de Ngoa-ékelle ( $p < 0,05$ ) et d'Ahala et de Ngoa-ékelle ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de la conductivité électrique (Figure 12D) ont varié de  $166,25 \pm 22,11 \mu\text{S/cm}$  en GSS (Grande Saison Sèche) à Ezazou à  $367,75 \pm 19,44 \mu\text{S/cm}$  en GSS (Grande Saison Sèche) à Ngoa-ékelle. Dans l'ensemble, le site d'Ezazou a présenté les valeurs les plus faibles et le site de Ngoa-ékelle les valeurs les plus élevées. Toutefois, aucune différence significative n'a été révélée d'une saison à l'autre ( $p < 0,05$ ).



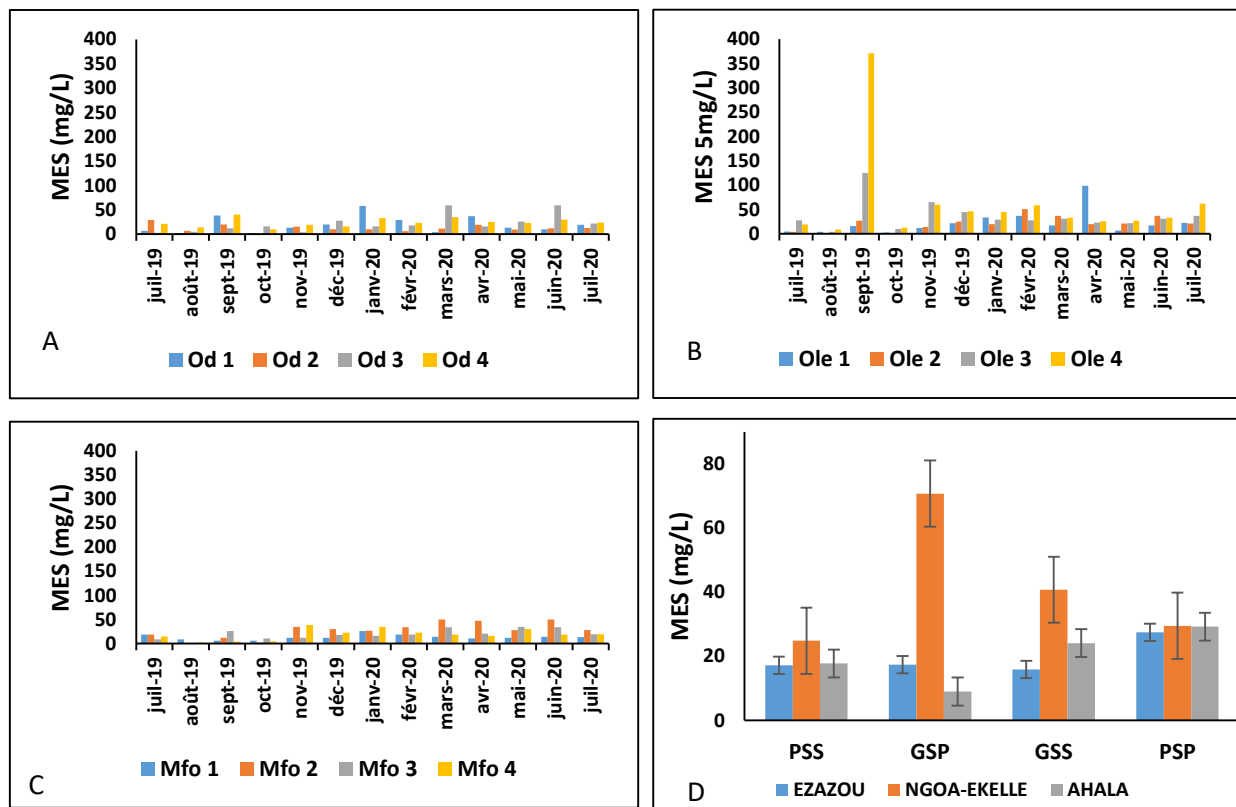
**Figure 12 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékelle ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la conductivité électrique des eaux pendant la période d'étude

#### III.1.1.4. Matières en suspension (MES)

Dans le site d'Ezazou (Figure 13A), les teneurs en matières en suspension des eaux ont varié de 1 mg/L (Od 2 en Octobre) à 59 mg/L (Od 3 en Juin) avec une moyenne de  $19,43 \pm 5,05$  mg/L. Des différences significatives ont été observées entre les stations Od 2 et Od 4 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 13B), les teneurs en matières en suspension des eaux ont varié de 0 mg/L (Ole 2 en Août) à 371 mg/L (Ole 4 en Septembre) avec une moyenne de  $35,66 \pm 18,72$  mg/L. Des différences significatives ont été observées entre les stations Ole 1 et Ole 4 puis entre Ole 2 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 13C), les teneurs en matières en suspension ont varié de 0 mg/L (Mfo 3 en Août) à 50 mg/L (Mfo 2 en Mars et Juin) avec une moyenne de  $20 \pm 6$  mg/L avec une différence significative entre les stations Mfo 1 et Mfo 2 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, des différences significatives ont été observées entre les sites

d’Ezazou et de Ngoa-ékelle puis entre Ahala et Ngoa-ékellé ( $p < 0,05$ ). En général, les eaux de Ngoa-ékellé ont été significativement plus riches en matières en suspension ( $p < 0,005$ ) que celles d’Ezazou et d’Ahala.

Sur le plan temporel, les teneurs en matières en suspension (Figure 13D) ont varié de  $9 \pm 4,58$  mg/L en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ahala à  $70,75 \pm 4,63$  mg/L en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ngoa-ékellé. Bien que le site de Ngoa-ékellé ait présenté les teneurs plus élevées, aucune différence significative n’a été observée d’une saison à l’autre ( $p > 0,05$ ).



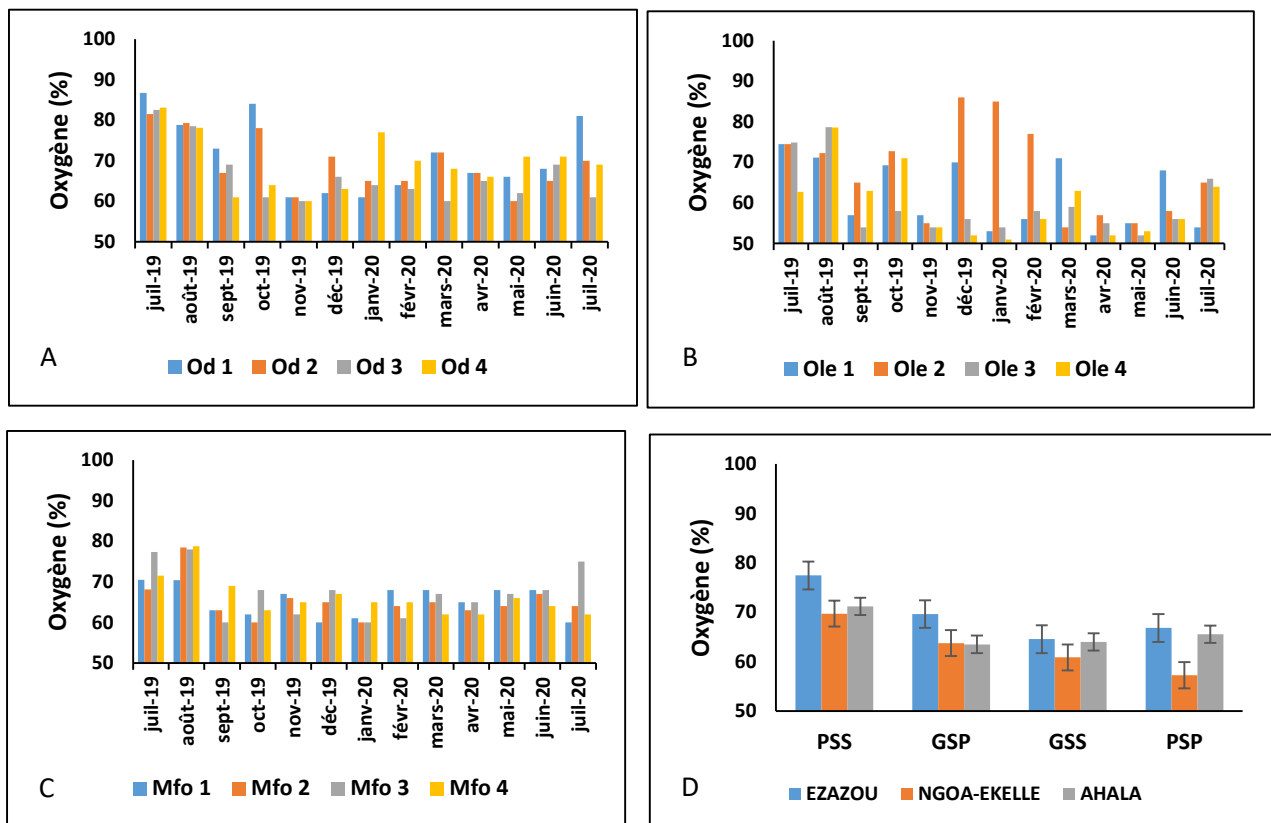
**Figure 13 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en matières en suspension des eaux pendant la période d’étude

### III.1.1.5. Oxygène dissous

Dans le site d’Ezazou (Figure 14A), le pourcentage de saturation en oxygène des eaux a varié entre 60% (Od 3 et Od 4 en Novembre 2019) et 86,7% (Od 1, juillet 2019) sans différence significative d’une station à l’autre ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $69 \pm 2,03$  %. Dans le site de Ngoa-ékellé (Figure 14B), il a varié entre 51% (Ole 4, Janvier 2020) et 86% (Ole 2 en Décembre) avec une moyenne de  $62,24 \pm 3,6$  % sans différence significative entre les stations ( $p > 0,05$ ). Au niveau d’Ahala (Figure 14C), le pourcentage de saturation en oxygène des eaux a varié entre 60% (Mfo 3 en Septembre 2019) et 78,8% (Mfo 4 en Août 2019) sans

différence significative d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $66,06 \pm 1\%$ . Dans l'ensemble, il y'a eu des différences significatives entre les stations Ole 3 et Ole 4 (du site de Ngoa-ékellé) et toutes les stations des sites d'Ezazou et d'Ahala ( $P < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les teneurs en oxygène dissous (Figure 14D) ont varié de  $57,25 \pm 2,84\%$  en PSP (Petite Saison de Pluies) à Ngoa-ékellé à  $77,45 \pm 3,4\%$  en PSS (Petite Saison Sèche) à Ezazou. Dans l'ensemble aucune différence significative n'a été observée d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).



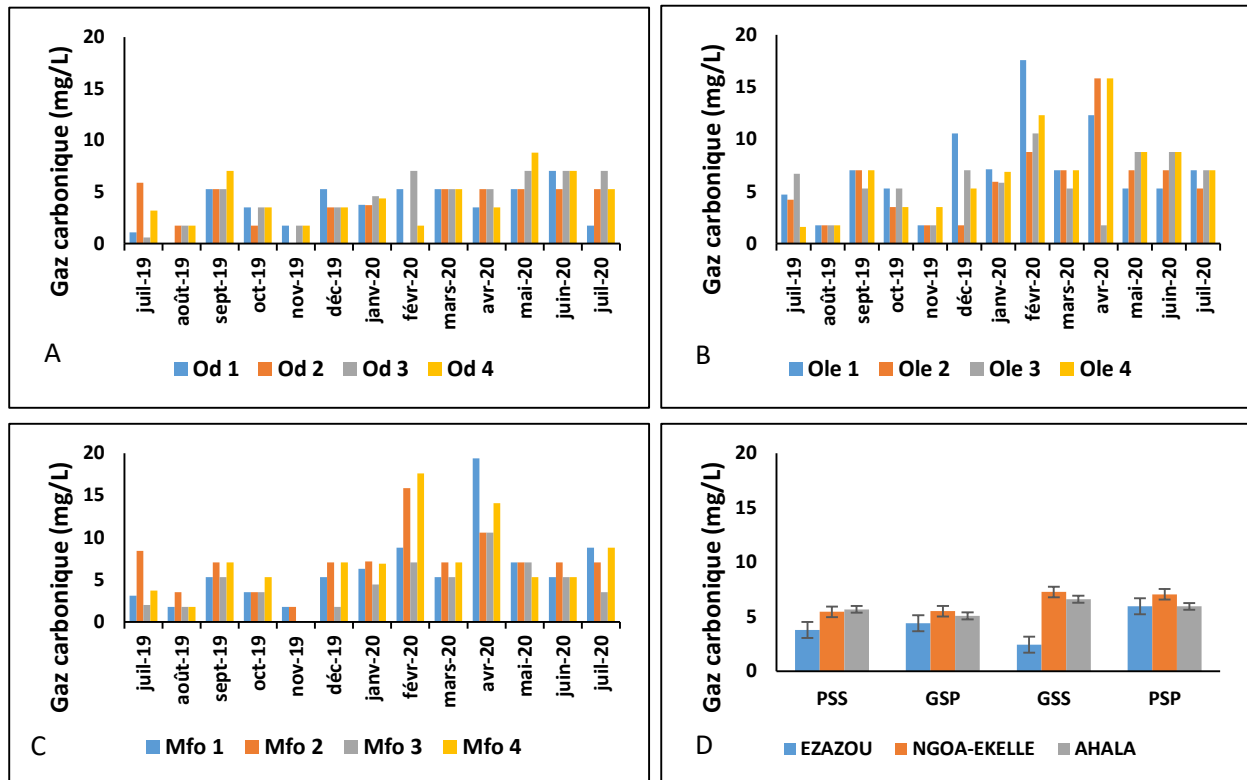
**Figure 14 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en oxygène dissous des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.6. Gaz carbonique dissous

Dans le site d'Ezazou (Figure 15A), les teneurs en gaz carbonique dissous ont varié entre 0 mg/L (Od 1 et Od 2) et 8,8 mg/ (Od 4 en Mai 2020) sans différence significative entre les stations ( $p > 0,05$ ) avec une moyenne de  $4,11 \pm 0,07$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 15B), les valeurs ont varié entre 1,6 mg/L (Ole 4 en Juillet 2019) et 17,6 mg/L (Ole 1 en Février 2020) avec une moyenne de  $6,44 \pm 0,66$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 15C), ces valeurs ont varié entre 0 mg/L (Mfo 3 et Mfo 4 en Novembre) et 19,36 mg/L (Mfo 1 en Avril 2020) avec une moyenne de  $6,19 \pm 3,87$  mg/L. Dans l'ensemble, on n'a pas noté de

différence significative d'un site à l'autre, ni d'une station à l'autre ( $p > 0,05$ ) excepté entre les stations Mfo 2 et Mfo 3 ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de gaz carbonique (Figure 15D) dissous ont varié de  $2,42 \pm 1,95$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ezazou à  $7,26 \pm 1,95$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ngoa-ékellé. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSP (Grande Saison de Pluies) et les plus élevées pendant la PSP (Petite Saison de Pluies) bien qu'il n'y ait pas eu de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

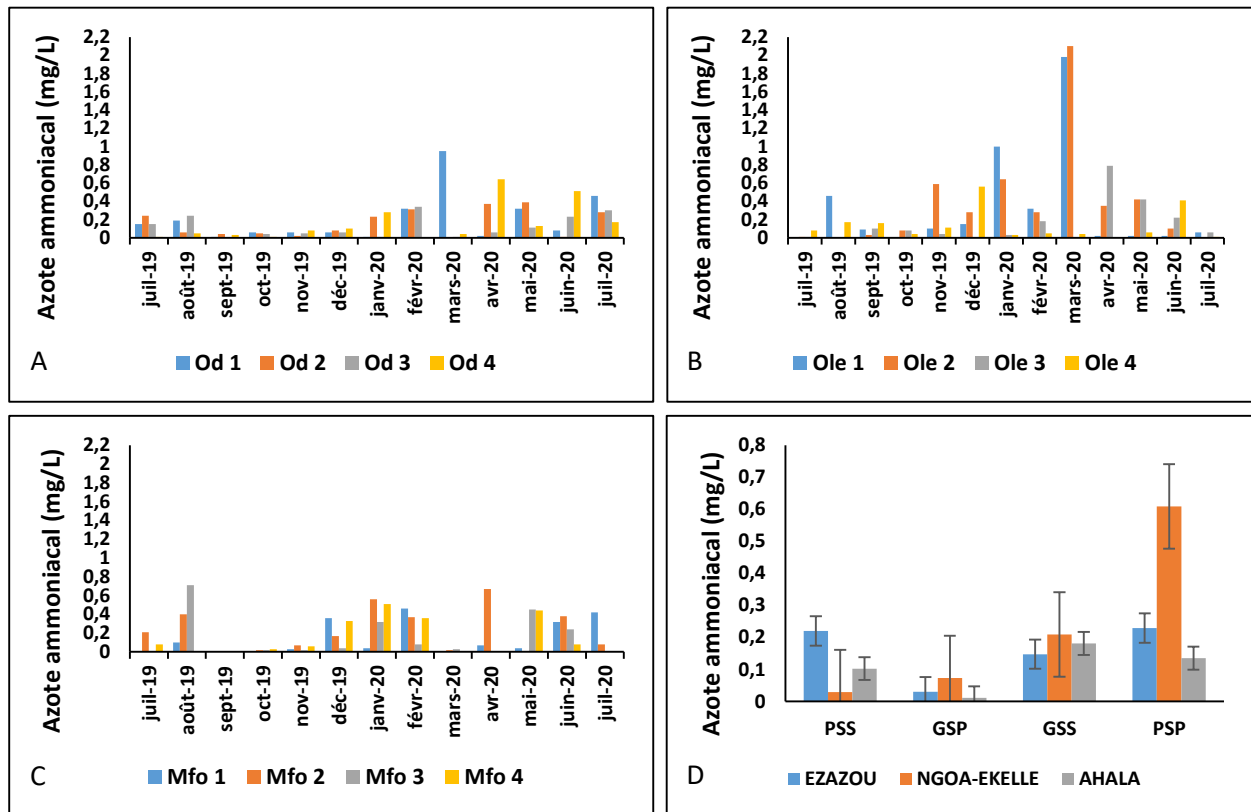


**Figure 15 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en gaz carbonique dissous des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.7. Azote ammoniacal

Dans le site d'Ezazou (Figure 16A), les concentrations des eaux en azote ammoniacal ont varié entre 0 mg/L (Od 2 en Mars) et 0,95 mg/L (Od 1 en Mars) avec une moyenne de  $0,16 \pm 0,03$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 16B), les valeurs ont varié entre 0 mg/L (plusieurs sites en des mois différents) et 2,1 mg/L (Ole 2 en Mars) avec une moyenne de  $0,24 \pm 0,11$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 16C), ces concentrations ont varié entre 0 mg/L (Mfo 1, Mfo 2 et Mfo 4) et 0,71 mg/L (Mfo 3 en Août) avec une moyenne de  $0,17 \pm 0,04$  mg/L. L'analyse des valeurs n'a montré aucune différence significative ni entre les stations, ni entre les sites ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs d'azote ammoniacal (Figure 16D) ont varié de  $0,01 \pm 0,008$  mg/L en GSP (Grande Saison Pluies) à Ahala à  $0,61 \pm 0,51$  mg/L en PSP (Petite Saison de Pluies) à Ngoa-ékellé. Dans l'ensemble, les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSP (Grande Saison de Pluies) et les plus élevées pendant la PSP (Petite Saison de Pluies) bien qu'on n'ait pas noté de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

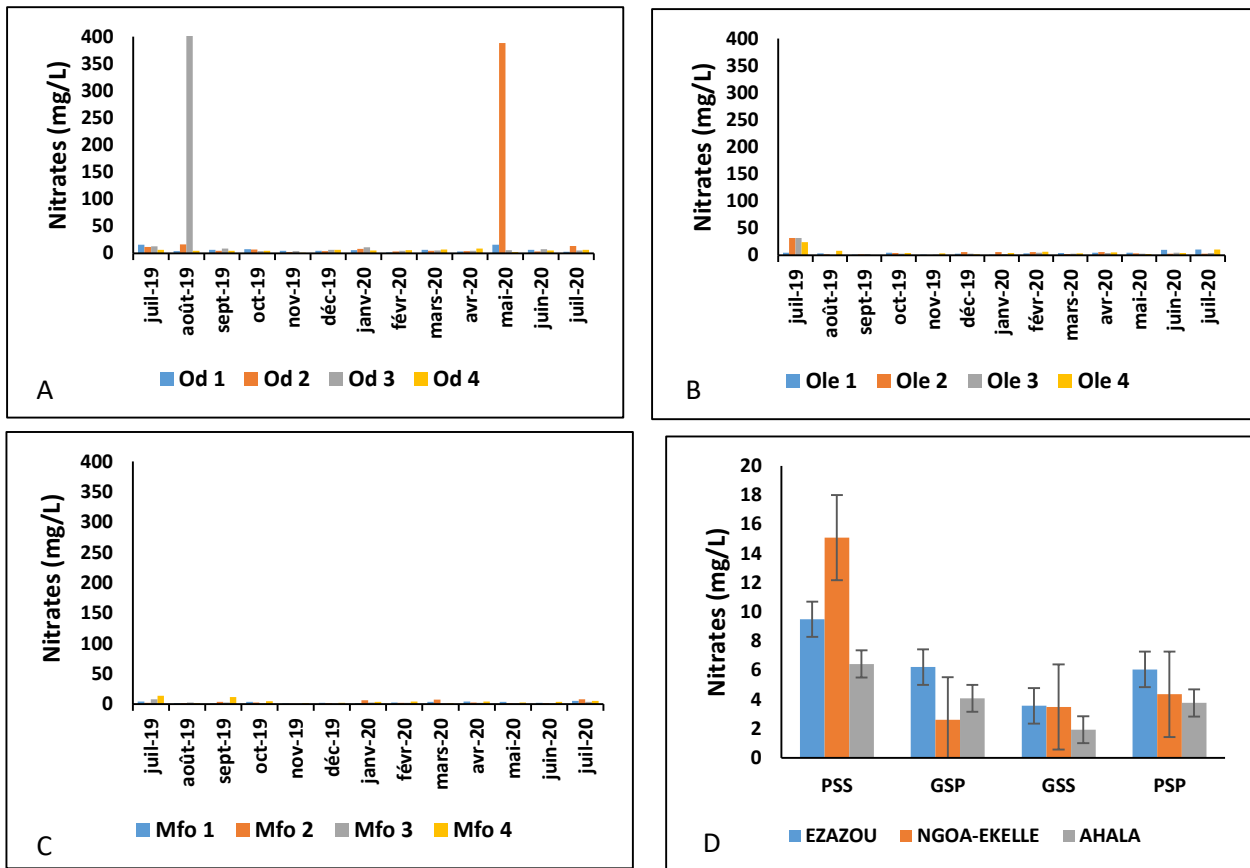


**Figure 16 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en azote ammoniacal des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.8. Nitrates

Dans le site d'Ezazou (Figure 17A), les teneurs des eaux en nitrates ont varié entre 0,96 mg/L (Od 4 en Novembre) et 412 mg/L (Od 3 en Août) avec une moyenne de  $21,67 \pm 17,98$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 17B), ces teneurs ont varié entre 0,12 mg/L (Ole 4 en Septembre) et 32 mg/L (Ole 2 et Ole 3 en Juillet 2019) avec une moyenne de  $5,36 \pm 0,74$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 17C), ces teneurs ont varié entre 0,12 mg/L (Mfo 2 en Novembre) et 14,07 mg/L (Mfo 4 en Juillet 2019) avec une moyenne de  $3,42 \pm 1,03$  mg/L et une différence significative entre les stations Mfo 3 et Mfo 4 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, l'analyse des valeurs a révélé que les eaux ont été significativement plus riches en nitrates à Ezazou ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de nitrates (Figure 17D) ont varié de  $1,93 \pm 0,82$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ahala à  $15,09 \pm 4,96$  mg/L en PSS (Petite Saison Sèche) à Ngoa-ékellé. Dans l'ensemble, les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) et les plus élevées pendant la PSS (Petite Saison Sèche) bien qu'il n'y ait pas eu de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).



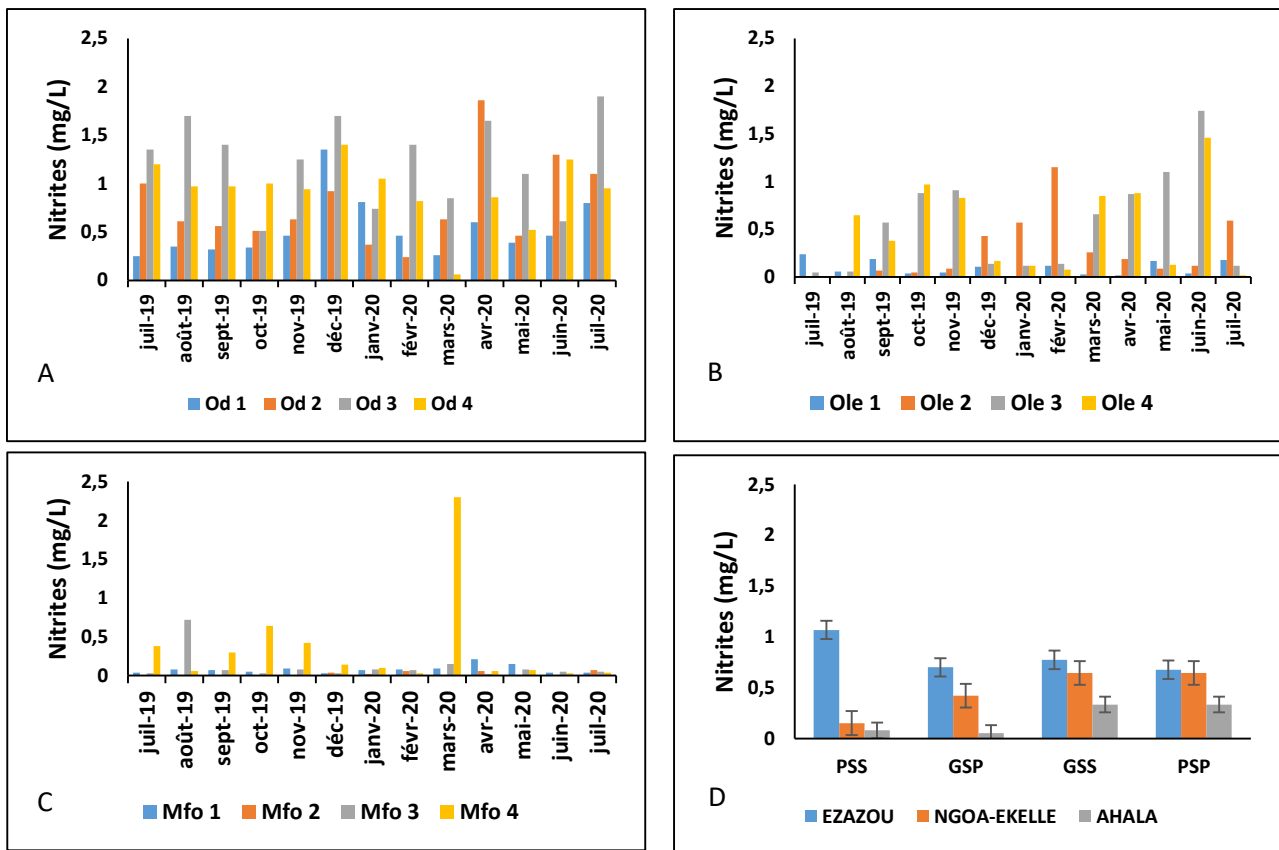
**Figure 17 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en nitrates des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.9 Nitrites

Dans le site d'Ezazou (Figure 18A), les teneurs des eaux en nitrites ont varié entre 0,06 mg/L (Od 4 en Mars 2020) et 1,9 mg/L (Od 3 Juillet 2020) avec une moyenne de  $0,87 \pm 0,3$  mg/L et des différences significatives entre les stations Od 1 et Od 3 ( $p < 0,05$ ), Od 1 et Od 4 ( $p < 0,05$ ) et entre Od 2 et Od 3 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 18B), ces teneurs ont varié entre 0 mg/L (Ole 2 en Août) et 1,74 mg/L (Ole 3 en Juin) avec une moyenne de  $0,36 \pm 0,21$  mg/L avec des différences significatives entre les stations Ole 1 et Ole 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Ole 1 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 18C), ces teneurs ont varié entre 0 mg/L (Mfo 2) et 2,3 mg/L (Mfo 4 en Mars) avec une moyenne de  $0,14 \pm 0,14$  mg/L avec des différences significatives entre les stations Mfo 1 et Mfo 2 ( $p < 0,05$ ), entre Mfo 2 et Mfo 3 ( $p < 0,05$ ).

< 0,05) et enfin entre Mfo 2 et Mfo 4 ( $p < 0,05$ ). Parlant des différences significatives entre les sites, on en a noté entre le site d’Ezazou et les sites d’Ahala ( $p < 0,05$ ) et de Ngoa-ékelle ( $p < 0,05$ ) d’une part et entre le site d’Ahala et de Ngoa-ékelle ( $p < 0,05$ ) d’autre part. Dans l’ensemble, les eaux ont été significativement plus riches en nitrites à Ezazou ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de nitrites (Figure 18D) ont varié de  $0,05 \pm 0,03$  mg/L en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ahala à  $1,07 \pm 0,45$  mg/L en PSS (Petite Saison Sèche) à Ezazou. Dans l’ensemble, les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSP (Grande Saison de Pluies) et les plus élevées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) bien qu’il n’y ait pas eu de différence significative d’une saison à l’autre ( $p > 0,05$ ).

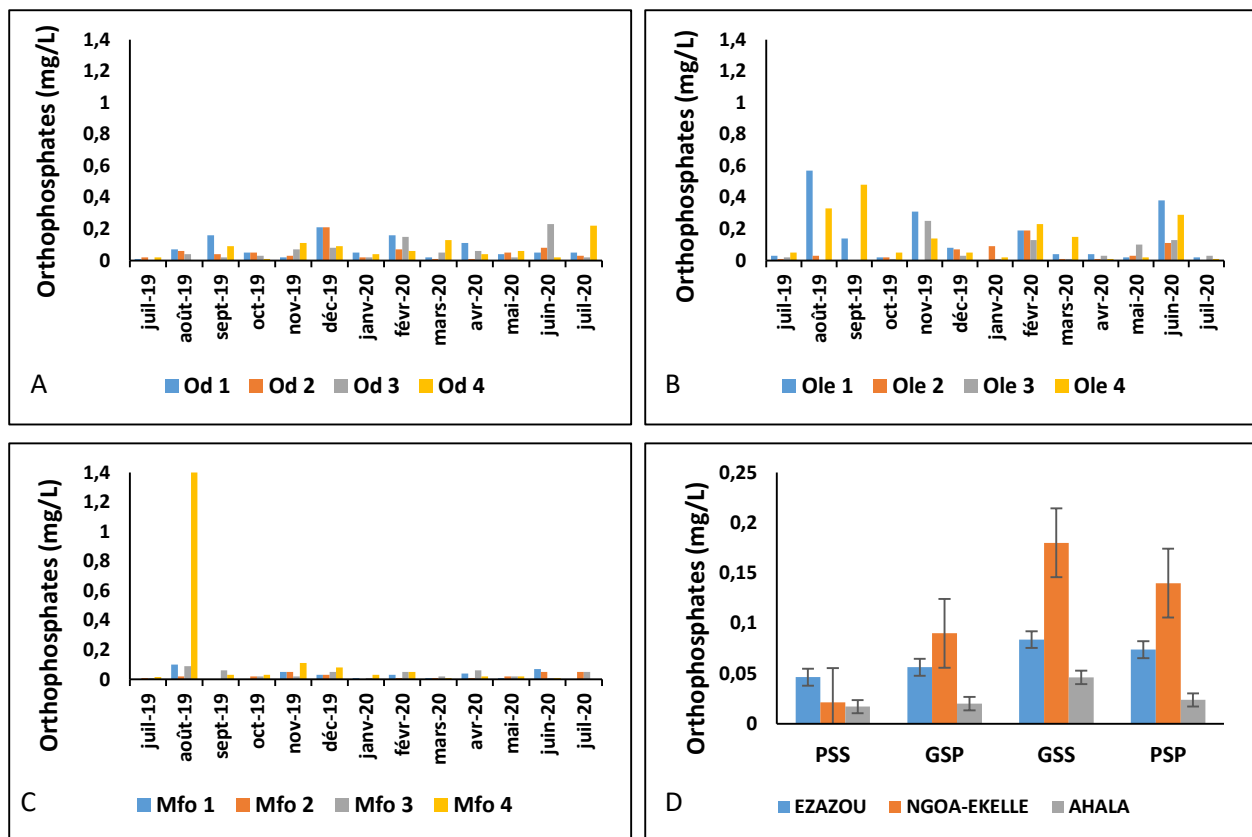


**Figure 18 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékelle ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en nitrites des eaux pendant la période d’étude

### III.1.1.10. Orthophosphates

Dans le site d'Ézazou (Figure 19A), les concentrations des eaux en orthophosphates ont varié entre 0 mg/L (Od 4 en Août) et 0,23 mg/L (Od 3 en Juin) avec une moyenne de  $0,06 \pm 0,01$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 19B), ces concentrations ont varié entre 0 mg/L (Ole 1, Ole 2 et Ole 3) et 0,57 mg/L (Ole 1 en Août) avec une moyenne de  $0,09 \pm 0,05$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 19C), ces concentrations ont varié entre 0 mg/L (Mfo 1, Mfo 2 et Mfo 4) et 1,4 mg/L (Mfo 4 en Août) avec une moyenne de  $0,05 \pm 0,05$  mg/L. Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative ni entre les sites ( $p > 0,05$ ) ni entre les stations excepté entre les stations Ole 2 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs d'orthophosphates (Figure 19D) ont varié de  $0,017 \pm 0,015$  mg/L en PSS (Petite Saison Sèche) à Ahala et  $0,18 \pm 0,06$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ngoa-ékellé. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la PSS (Petite Saison Sèche) et les plus élevées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) bien qu'on n'ait pas noté de différence significative ( $p > 0,05$ ) d'une saison à l'autre.

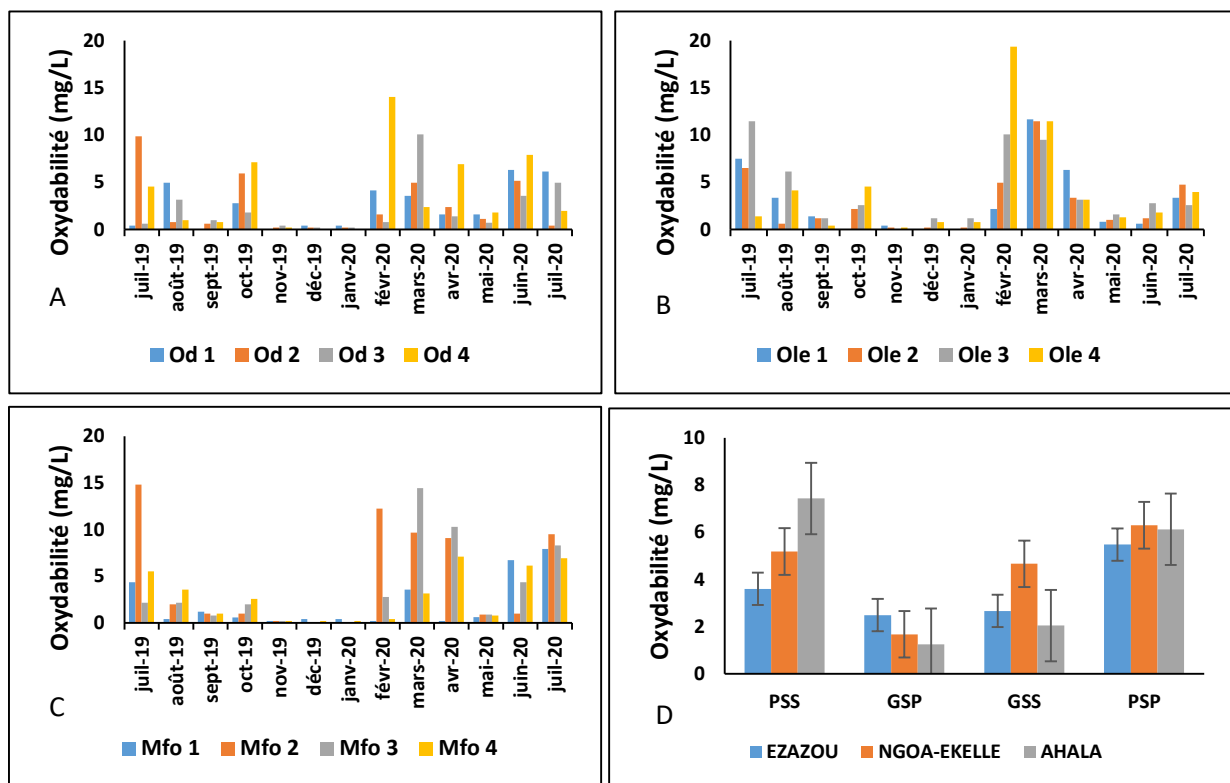


**Figure 19 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) des teneurs en orthophosphates des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.11. Oxydabilité

Dans le site d'Ezazou (Figure 20A), l'oxydabilité a varié entre 0 mg/L (Od 1 et Od 4) et 14,02 mg/L (Od 4 en Février) avec une moyenne de  $2,74 \pm 0,68$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 20B), elle a varié entre 0 mg/L (Ole 1 et Ole 3) et 19,36 mg/L (Ole 4 en Février) avec une moyenne de  $3,5 \pm 0,69$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 20C), elle a varié entre 0 mg/L (Mfo 2 et Mfo 3) et 14,81mg/L (Mfo 2 en Juillet 2019) avec une moyenne de  $3,35 \pm 1,14$  mg/L. Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative ni entre les sites ni entre les stations ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de l'oxydabilité (Figure 20D) ont varié de  $1,26 \pm 0,40$  mg/L en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ahala à  $7,43 \pm 3,17$  mg/L en PSS (Petite Saison Sèche) à Ahala. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSP (Grande Saison de Pluies) et les plus élevées pendant la PSS (Petite Saison Pluvieuse) bien qu'on n'ait pas observé de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

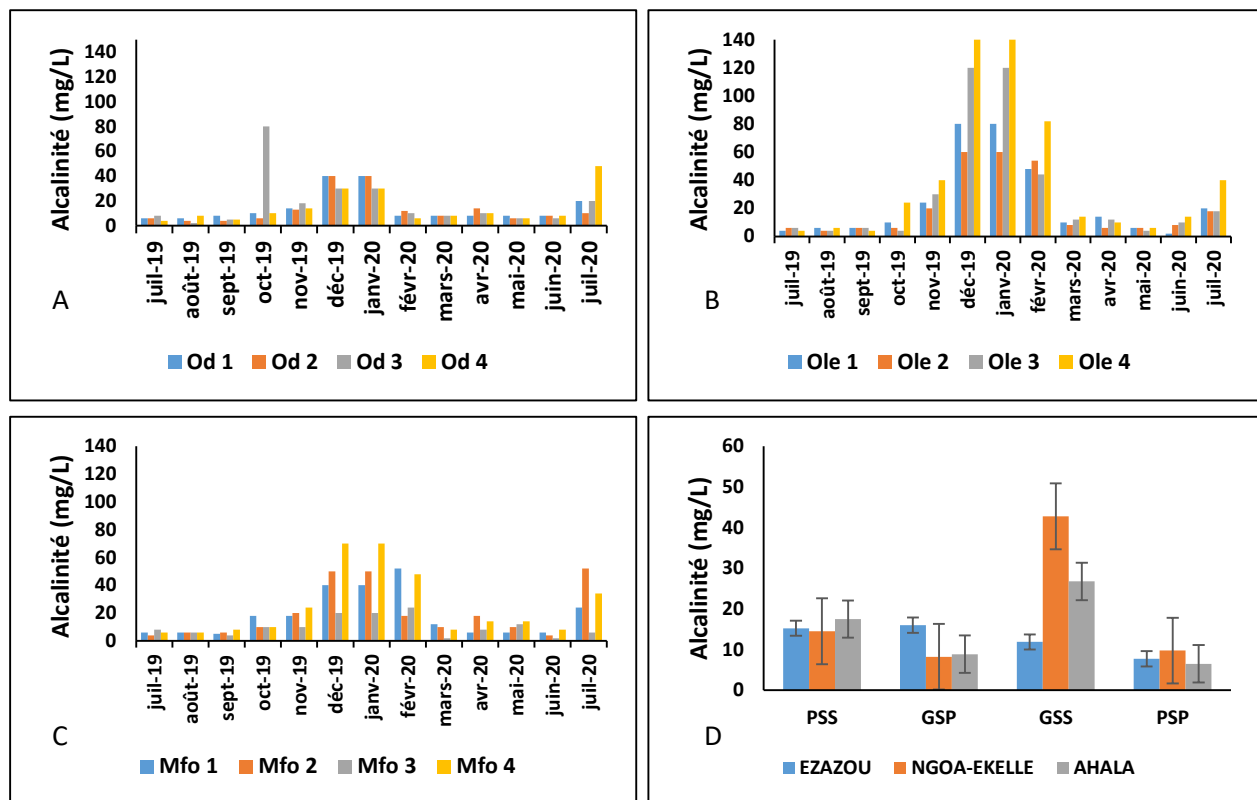


**Figure 20 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de l'oxydabilité des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.12. Alcalinité

Dans le site d'Ezazou (Figure 21A), les valeurs de l'alcalinité ont varié entre 2 mg/L (Od 3 en Août) et 80 mg/L (Od 3 en Octobre) avec une moyenne de  $14,9 \pm 2,08$  mg/L. Dans le site de Ngoa-ékellé (Figure 21B), elles ont varié entre 2 mg/L (Ole 1 en Juin) et 140 mg/L (Ole 4 en Décembre et Janvier) avec une moyenne de  $28,58 \pm 8,81$  mg/L. Au niveau d'Ahala (Figure 21C), ces valeurs ont varié entre 2 mg/L (Mfo 3 en Juin) et 70 mg/L (Mfo 4 en Décembre et Janvier) avec une moyenne de  $18,25 \pm 6,02$  mg/L. Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative ni entre les sites ni entre les stations ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de l'alcalinité (Figure 21D) ont varié de  $6,5 \pm 3,11$  mg/L en PSP (Petite Saison de Pluies) à Ahala à  $42,75 \pm 12,17$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ngoa-ékellé. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la PSP (Petite Saison de Pluies) et les plus élevées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) bien qu'on n'ait pas observé de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

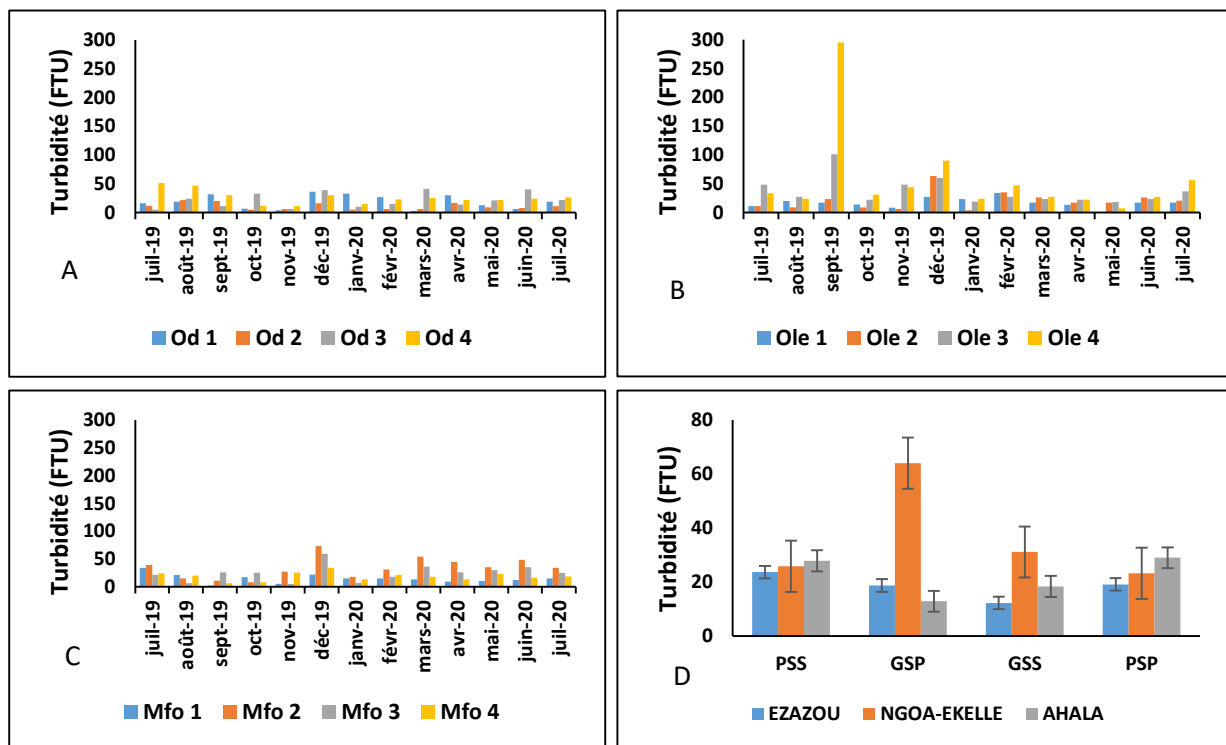


**Figure 21 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de l'alcalinité des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.13. Turbidité

Dans le site d'Ezazou (Figure 22A), les valeurs de la turbidité ont varié entre 3 FTU (Od 1 en Mars) et 51 FTU (Od 4 en Juillet 2019) avec une moyenne de  $19,35 \pm 6,30$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Od 2 et Od 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Od 2 et Od 4 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 22B), elles ont varié entre 1 FTU (Ole 1 en Mai) et 295 FTU (Ole 4 en Septembre) avec une moyenne de  $32,44 \pm 17,83$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Ole 1 et Ole 3 ( $p < 0,05$ ), entre Ole 1 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ), entre Ole 2 et Ole 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Ole 2 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 22C), ces valeurs ont varié entre 2 mg/L (Mfo 1 en Septembre) et 73 mg/L (Mfo 2 en Décembre) avec une moyenne de  $22,79 \pm 8,32$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Aha1 et Mfo 2 ( $p < 0,05$ ), entre Mfo 1 et Mfo 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Mfo 2 et Mfo 4 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative entre les sites.

Sur le plan temporel, les valeurs de turbidité (Figure 22D) ont varié de  $12,25 \pm 5$  FTU en GSS (Grande Saison Sèche) à Ezazou à  $64 \pm 69,43$  FTU en GSP (Grande Saison de Pluies) à Ngoa-ékellé. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) et les plus élevées pendant la GSP (Grande Saison de Pluies) bien qu'on n'ait pas observé de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

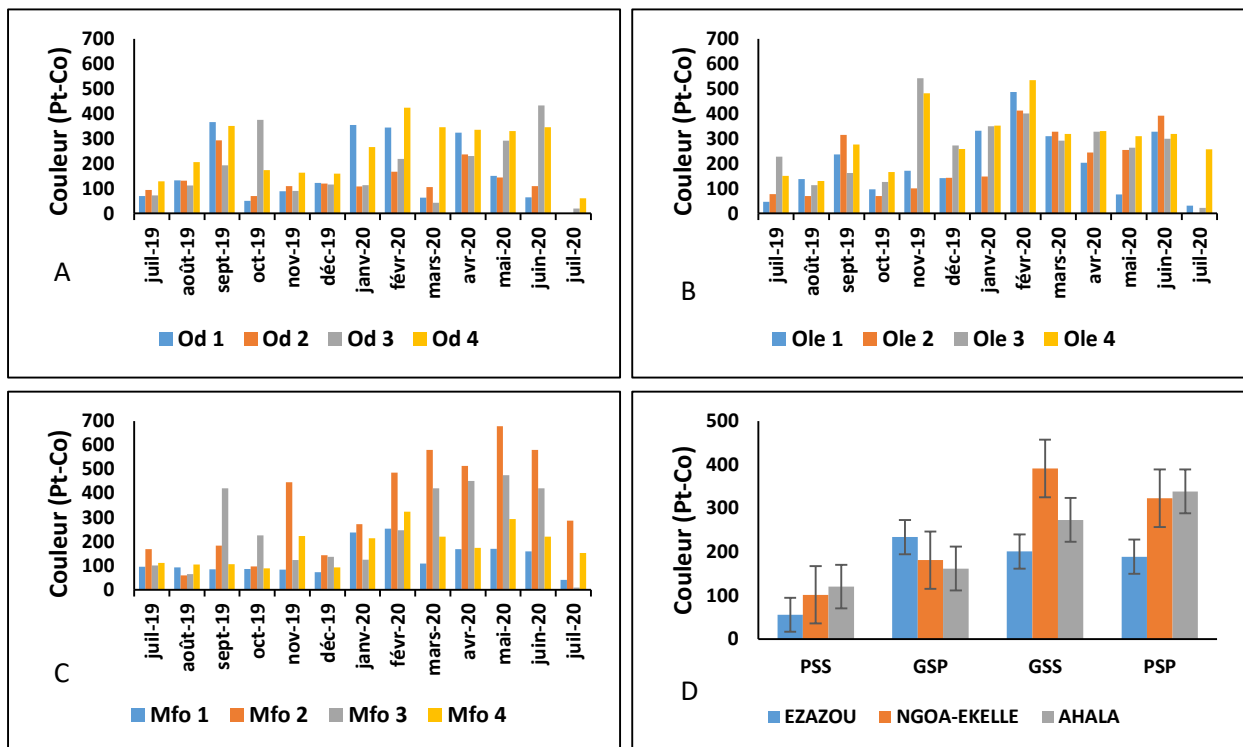


**Figure 22 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la turbidité des eaux pendant la période d'étude.

### III.1.1.14. Couleur

Dans le site d'Ezazou (Figure 23A), les valeurs de la couleur ont varié entre 0 Pt-Co (Od 1 et Od 2 en Juillet 2020) et 433 mg/L (Od 3 en Juin) avec une moyenne de  $181 \pm 52,02$  Pt-Co. On a noté une différence significative entre les stations Od 2 et Od 4 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 23B), elles ont varié entre 0 Pt-Co (Ole 2 en Juillet 2020) et 542 Pt-Co (Ole 3 en Novembre) avec une moyenne de  $238,83 \pm 49,7$  Pt-Co sans différence significative entre les stations ( $p > 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 23C), ces valeurs ont varié entre 9 Pt-Co (Mfo 3 en Juillet 2020) et 678 Pt-Co (Mfo 2 en Mai) avec une moyenne de  $224,58 \pm 94,55$  Pt-Co. On a noté une différence significative entre les stations Mfo 1 et Mfo 2 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative entre les sites.

Sur le plan temporel, les valeurs de la couleur (Figure 23D) ont varié de  $55,62 \pm 50,02$  pt-Co en PSS (Petite Saison Sèche) à Ezazou et  $391,12 \pm 35,51$  pt-Co en GSS (Grande Saison Sèche) à Ngoa-ékellé. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la PSS (Petite Saison Sèche) et les plus élevées pendant la GSS (Grande Saison Sèche) bien qu'on n'ait pas observé de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

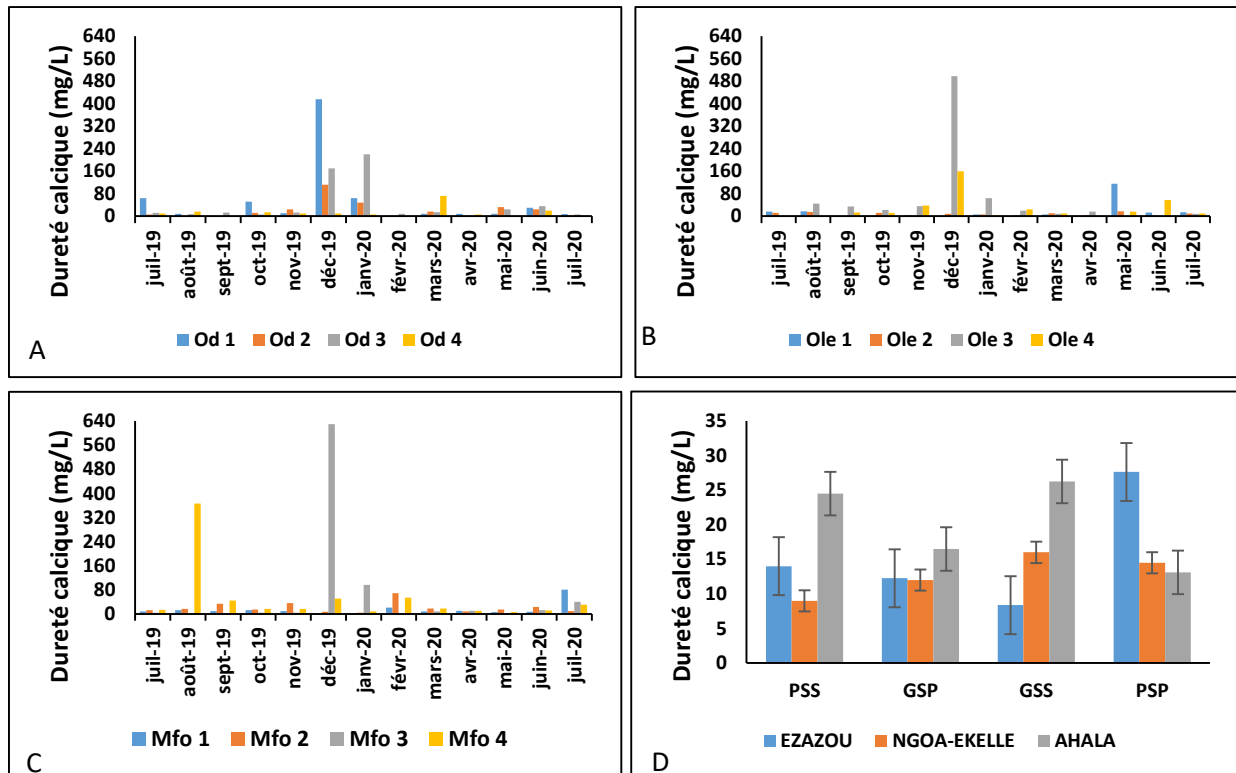


**Figure 23 :** Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la couleur des eaux pendant la période d'étude

### III.1.1.15. Dureté calcique

Dans le site d'Ezazou (Figure 24A), les valeurs de dureté calcique ont varié entre 0 mg/L (Od 2 et Od 4) et 416 mg/L (Od 1 en Décembre) avec une moyenne de  $31,85 \pm 17,89$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Od 2 et Od 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Od 2 et Od 4 ( $p < 0,05$ ). Dans le site de Ngoa-ékelle (Figure 24B), elles ont varié entre 0 mg/L (toutes les stations) et 498 mg/L (Ole 3 en Décembre) avec une moyenne de  $26,98 \pm 22,06$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Ole 1 et Ole 3 ( $p < 0,05$ ), entre Ole 1 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ), entre Ole 2 et Ole 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Ole 2 et Ole 4 ( $p < 0,05$ ). Au niveau d'Ahala (Figure 24C), ces valeurs ont varié entre 0 mg/L (Mfo 3 et Mfo 1) et 630 mg/L (Mfo 3 en Décembre) avec une moyenne de  $36,52 \pm 23$  mg/L. On a noté une différence significative entre les stations Mfo 1 et Mfo 2 ( $p < 0,05$ ), entre Mfo 1 et Mfo 3 ( $p < 0,05$ ) et entre Mfo 2 et Mfo 4 ( $p < 0,05$ ). Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative entre les sites ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan temporel, les valeurs de dureté calcique (Figure 24D) ont varié de  $8,37 \pm 2,9$  mg/L en GSS (Grande Saison Sèche) à Ezazou et  $27,6 \pm 12,5$  mg/L en PSP (Petite Saison de Pluies) à Ezazou. Les valeurs les plus basses ont été observées pendant la grande saison de pluies (GSP) et les plus élevées pendant la petite saison de pluies (PSP) bien qu'on n'ait pas observé de différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).

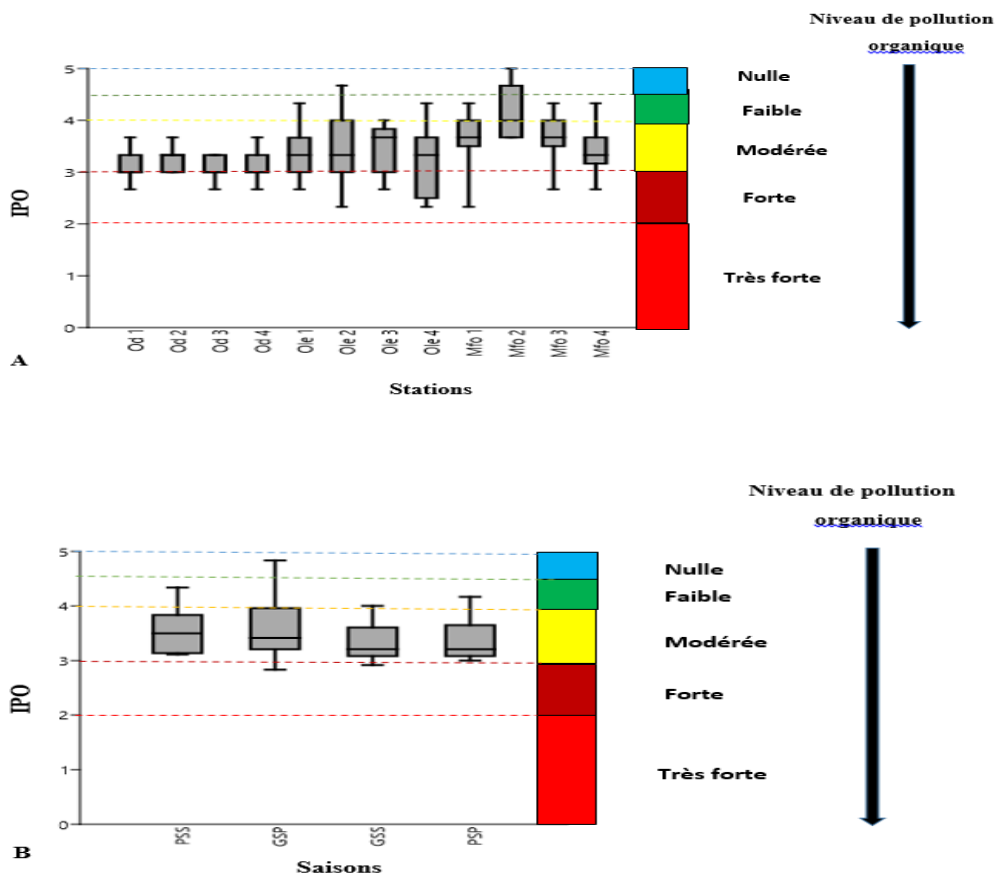


**Figure 24** : Variation spatiale (A : Ezazou ; B : Ngoa-ékellé ; C : Ahala) et saisonnière (D) de la dureté calcique des eaux pendant la période d'étude

### III.1.2. Caractérisation physico-chimique des stations

#### III.1.2.1. Indice de Pollution Organique (IPO)

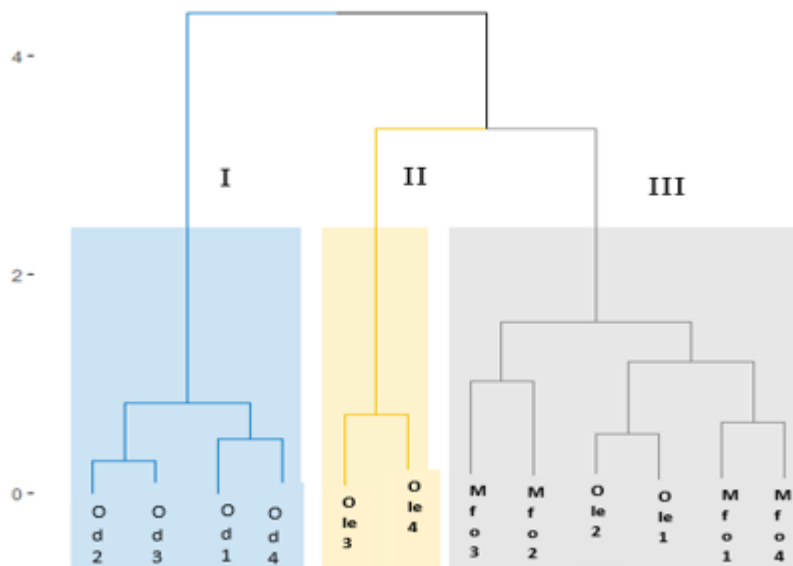
L'indice de pollution organique (IPO) a été généré à partir des concentrations en azote ammoniacal, en nitrite et en orthophosphates. Sur le plan spatial (Figure 25A), les valeurs de l'IPO ont varié entre 2,3 (Ole 2) et 5,1 (Mfo 2) et le test de Mann-Whitney a révélé plusieurs différences significatives, particulièrement entre toutes les stations du site de Ahala et celles du site d'Ezazou ainsi qu'entre la station Mfo 2 et toutes les 11 autres stations. Ainsi donc, d'après la grille de classification de Leclerq (2001), la pollution organique serait modérée dans le site d'Ezazou, modérée à forte à Ngoa-ékelle et modérée à faible dans le site d'Ahala. Sur le plan temporel (Figure 25B), le test de kruskall-Wallis n'a pas révélé de différence significative d'un mois à l'autre ou d'une saison à l'autre bien qu'on ait enregistré des valeurs légèrement plus élevées au cours de la grande saison des pluies.



**Figure 25 :** Variation spatiale (A) et saisonnière (B) des valeurs de l'IPO pendant la période d'été.

### III.1.2.2. Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)

L'analyse de Classification Hiérarchique (ACH) réalisée à partir des paramètres physico-chimiques (Figure 26) a permis de classer les stations d'échantillonnage en 03 groupes (I, II et III) ; le groupe I composé des 04 stations d'Ezazou dont les plus similaires sont Od 1 et Od 4 ; le groupe II des stations Ole 3 et Ole 4 et le groupe III, des stations Mfo 2, Mfo 3, Mfo 1, Mfo 4, Ole 2 et Ole 1.



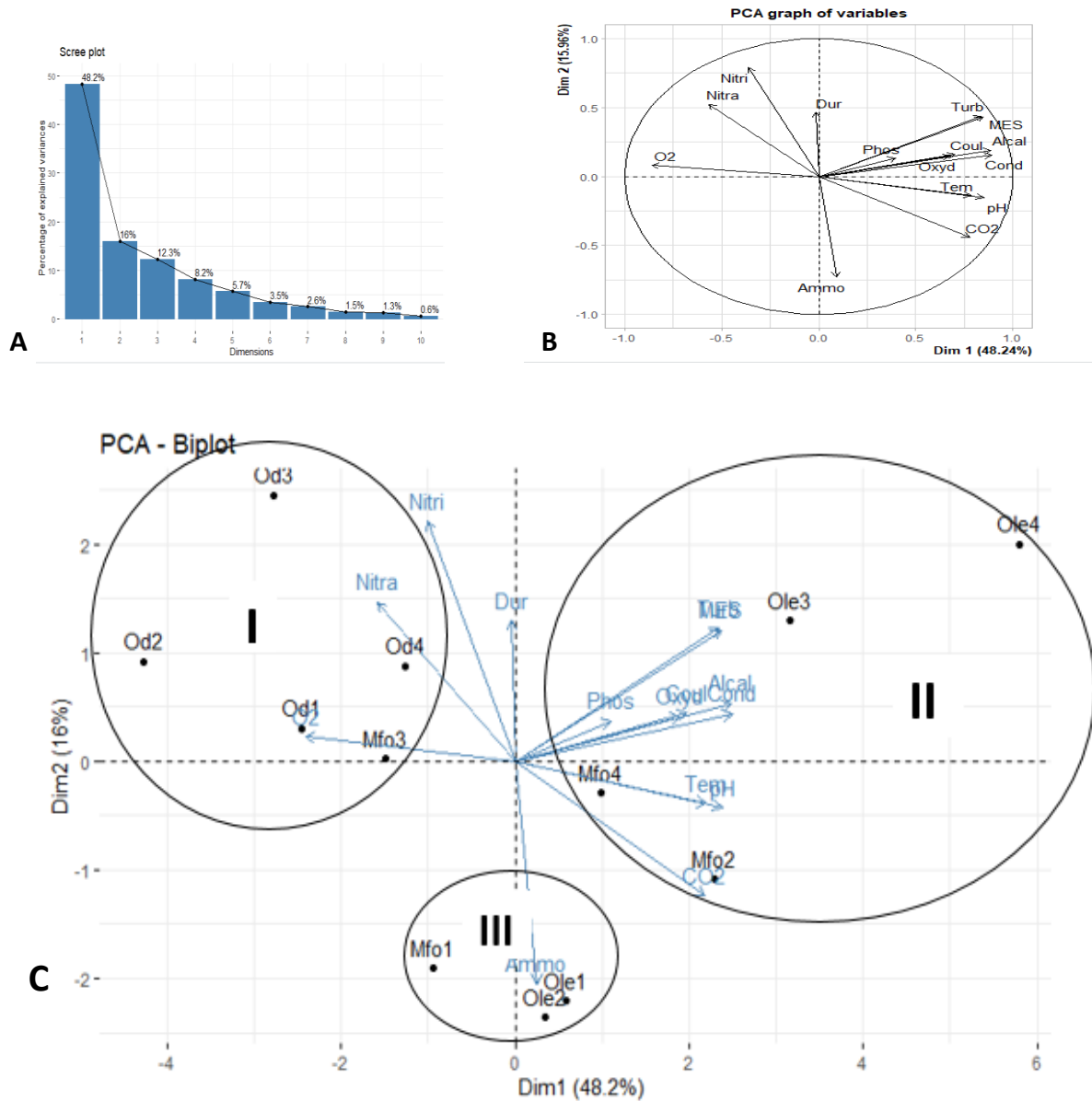
**Figure 26 :** ACH des stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico-chimiques pendant la période d'étude; les chiffres I, II et III désignent les groupes constitués.

### III.1.2.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des paramètres physico-chimiques a révélé que l'essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes factoriels  $F_1$  (48,2%) et  $F_2$  (16%) qui cumulent 64,2% % de l'inertie totale (Figure 27A). Le cercle de corrélation (Figure 27B) présente les interactions qui existent entre les différents paramètres physico-chimiques. De l'analyse de la carte factorielle (Figure 27C), il ressort trois groupes (I, II et III).

Le groupe I montre que toutes les stations d'échantillonnage du site d'Ezazou et la station Mfo 3 présentent les mêmes caractéristiques et sont significativement et négativement corrélées à l'axe  $F_1$ . En outre, ces stations sont caractérisées par des eaux chargées en nitrates et ayant des taux de saturation en oxygène élevés. Le groupe II loge les stations Ole 3, Ole 4, Mfo 2 et Mfo 4 qui sont significativement et positivement corrélées à l'axe  $F_1$ . Ces stations sont

caractérisées par des eaux colorées, turbides, alcalines, chargées en matières en suspension et en matières organiques (oxydabilité) avec des concentrations élevées de conductivité électrique, de gaz carbonique ainsi que de fortes températures et des pH élevés. Le groupe III abrite les stations Mfo 1, Ole 1 et Ole 2 qui sont significativement et négativement corrélées à l'axe F<sub>2</sub> et qui sont caractérisées par de fortes concentrations en azote ammoniacal.



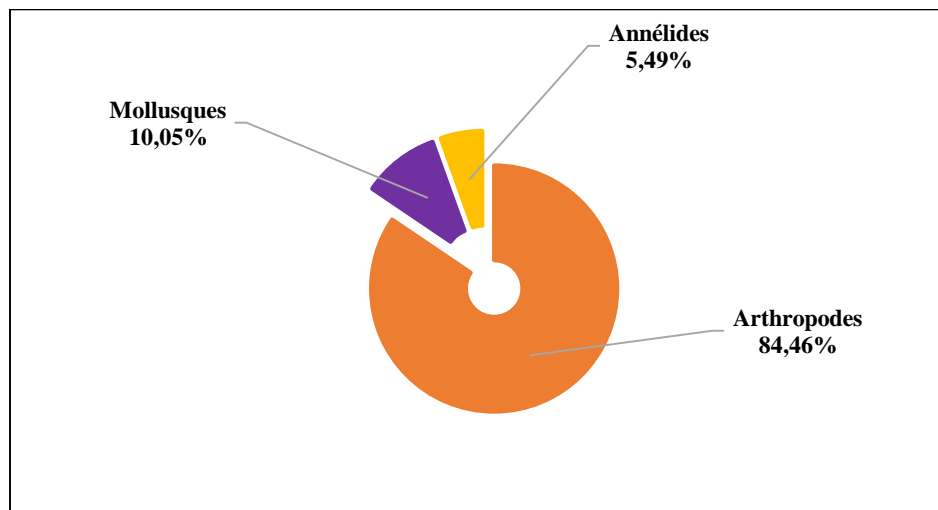
**Figure 27 :** Analyse en Composantes Principales des variables physico-chimiques des différentes stations. (A) Histogramme des valeurs propres, (B) cercle de corrélations, (C) Biplot montrant les corrélations et la distribution des échantillons sur le plan factoriel F<sub>1</sub> \* F<sub>2</sub>. Acronymes : Nitri = nitrites ; Nitra : nitrates ; O<sub>2</sub>= Dioxygène ; Dur= Dureté calcique ; Phos = phosphates ; Mes = matières en suspension ; Tur = turbidité ; Alcal = alcalinité ; Cond = conductivité ; Coul = couleur ; Oxyd = oxydabilité ; Tem = température ; CO<sub>2</sub> = gaz carbonique ; Ammo = azote ammoniacal.

### III.1.3. Macroinvertébrés benthiques

#### III.1.3.1. Richesse taxonomique et abondance relative

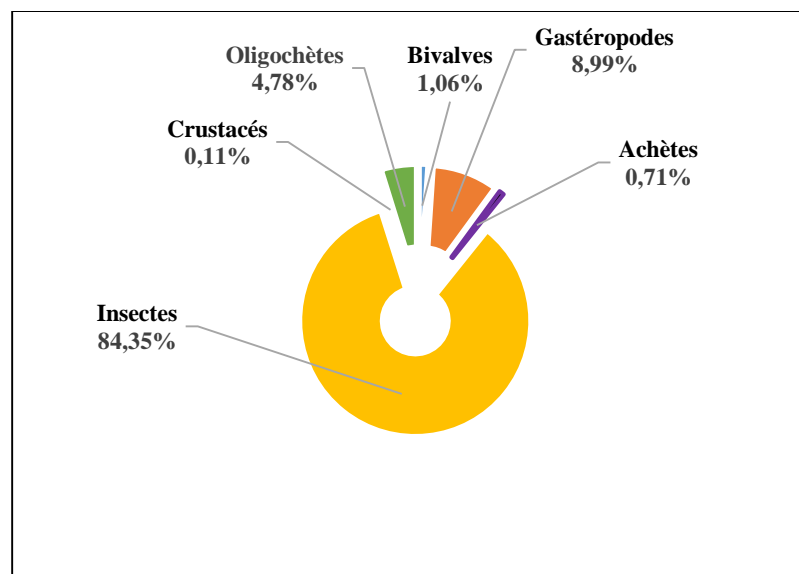
Sur l'ensemble des 12 stations d'échantillonnage, un total de 17158 organismes a été récolté appartenant à 145 taxons dont 127 identifiés au rang de l'espèce. Ces organismes appartiennent à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 6 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 15 ordres (Hétéroptères, Diptères, Odonates, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Isopoda, Haplotaxida, Lumbriculida, Arhynchobdellida, Ryncobdellida, Basommatophores, Mesogastropoda, Sphaeriida et Unionoida) et 65 familles.

L'embranchement des Arthropodes domine avec 14491 individus (soit 84,46 % d'abondance relative) répartis en 2 classes (Insectes et Crustacés), 7 ordres (Hétéroptères, Diptères, Odonates, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères et Isopodes), 47 familles et 79 genres et/ou espèces (Figure 28). Il est suivi des Mollusques avec 1725 individus (soit 10,05 % d'abondance relative) repartis en 2 classes (Gastéropodes et Bivalves), 4 ordres (Basommatophores, Mesogasteropoda, Sphaeriida et Unionoida), 10 familles et 35 genres et/ou espèces et enfin vient l'embranchement des Annélides avec 942 individus (soit 5,49 % d'abondance relative) repartis en 2 classes (Oligochètes et Achètes), 4 ordres (Haplotaxida, Lumbriculida, Arhynchobdellida et Ryncobdellida), 8 familles et 13 genres et/ou espèces.



**Figure 28** : Abondance relative des embranchements de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude

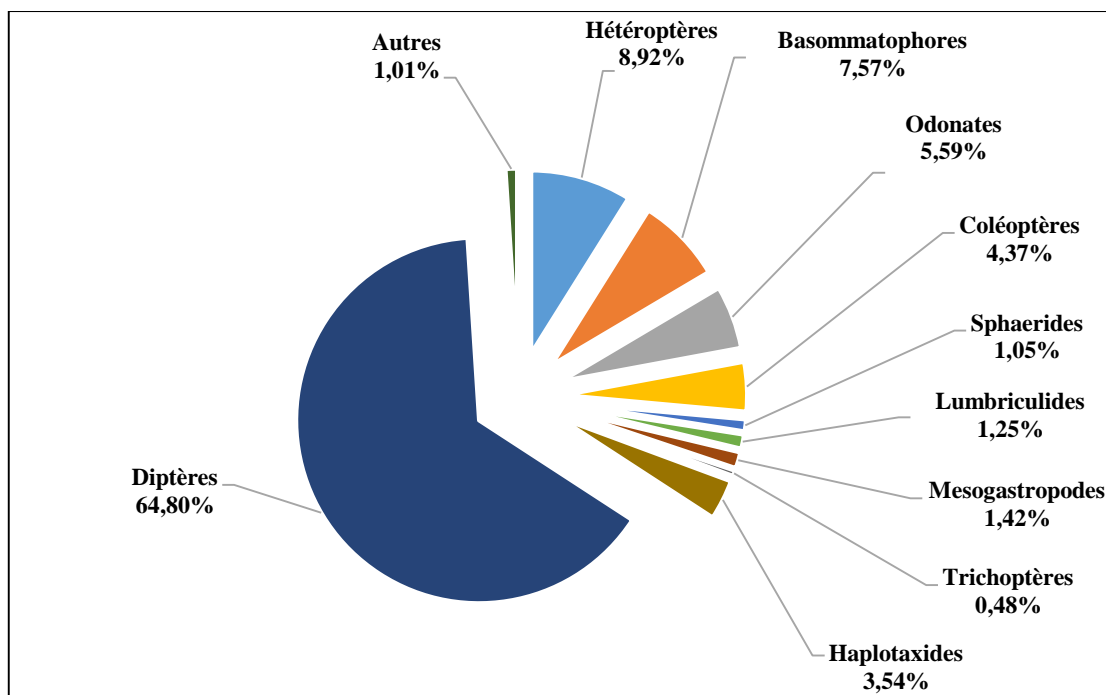
La classe des Insectes est la plus abondante avec 14 472 individus (soit 84,34 % d'abondance relative) répartis en 6 ordres, 46 familles et 78 genres et/ou espèces (Figure 29); elle est suivie par la classe des Gastéropodes avec 1543 individus (soit 9 % d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 8 familles et 33 genres et/ou espèces. Ensuite vient la classe des Oligochètes qui compte 821 individus (soit 4,78 % d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 6 familles et 7 genres et/ou espèces, suivie de la classe des Bivalves, avec 182 individus (soit 1,06 % d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 2 familles et 2 genres et/ou espèces et de la classe des Achètes avec 121 individus (soit 0,71% d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 2 familles et 6 genres et/ou espèces. La classe la moins abondante est celle des Crustacés qui compte 19 individus (soit 0,11 % d'abondance relative) comprenant 1 ordre, 1 famille et 1 espèce.



**Figure 29 :** Abondance relative des classes de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude.

Des 15 ordres identifiés, celui des Diptères a été le plus abondant avec 11119 individus (soit 64,8% d'abondance relative) appartenant à 15 familles (Figure 30), suivi des Héétéroptères qui comptent 1530 individus (soit 8,92% d'abondance relative) et 8 familles et des Basommatophores avec 1299 individus (soit 7,57% d'abondance relative) répartis en 3 familles. Puis viennent les Odonates avec 959 individus (soit 5,59% d'abondance relative) appartenant à 4 familles, les Coléoptères avec 749 individus (soit 4,37% d'abondance relative) avec 14 familles et les Haplotaxides avec 607 individus (soit 3,54% d'abondance relative) et 3 familles. L'ordre des Mesogatropodes comprend 244 individus soit 1,42% d'abondance relative et 5

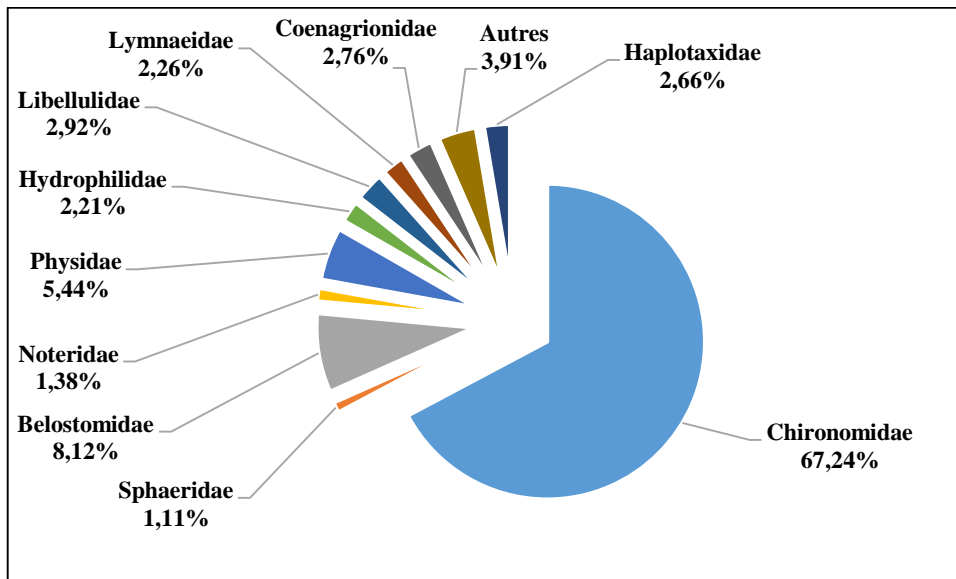
familles. L'ordre des Lumbriculides comporte 214 individus, soit 1,25% d'abondance relative reparti en 3 familles. Les ordres des Sphaerides et des Trichoptères comptent respectivement 180 et 83 individus soit 1,05% et 0,48% d'abondance relative avec chacun 1 famille. Les ordres les moins abondants sont représentés par les Arhynchobdellides, les Ephéméroptères, les Isopodes, les Unionoides et les Rynchobdellides qui totalisent 174 individus soit 1,01 % d'abondance relative.



**Figure 30 :** Abondance relative des ordres de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude

Quant aux familles, seules celles ayant enregistré une abondance absolue de 100 individus au moins ont été présentées. C'est ainsi qu'un total de 15 familles a été retenu à savoir : les Nepidae, les Belostomatidae, les Chironomidae, les Coenagrionidae, les Libellulidae, les Hydrophilidae, les Noteridae, les Haplotaxidae, les Tubificidae, les Enchytraeidae, les Glossiphonidae, les Physidae, les Lymnaeidae, les Viviparidae et les Sphaeridae (Figure 31). De ces familles, celle des Chironomidae a été la plus abondante avec 10881 individus (soit 67,24% d'abondance relative), suivie des Belostomatidae avec 1314 individus (soit 8,12% d'abondance relative). Puis viennent les Physidae avec 880 individus (soit 5,44% d'abondance relative), les Libellulidae avec 473 individus (soit 2,92% d'abondance relative) et les Coenagrionidae avec 446 individus (soit 2,76% d'abondance relative). Les familles les moins abondantes ont été les Enchytraeidae (0,93 % d'abondance relative), les Tubificidae (0,93% d'abondance relative), les Nepidae (0,79% d'abondance relative), les Viviparidae (0,64%

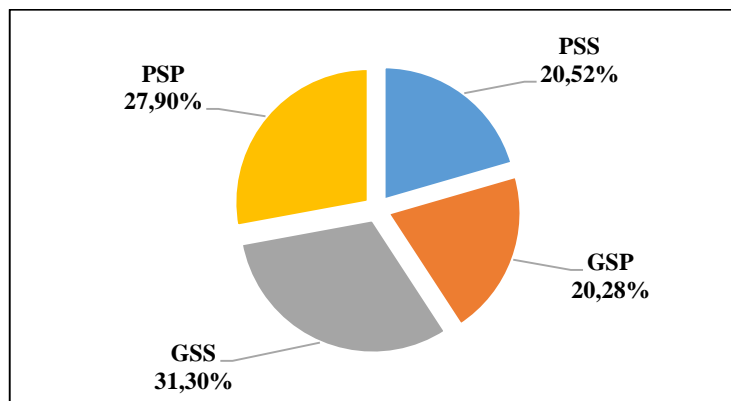
d'abondance relative) et les Glossiphonidae (0,62% d'abondance relative) qui totalisent 633 individus soit 3,91 % d'abondance relative.



**Figure 31 :** Abondance relative des principales familles de MIB dans l'ensemble des sites pendant la période d'étude

### III.1.3.2. Variation saisonnière de la richesse taxonomique et de l'abondance relative globale des macroinvertébrés benthiques

La saison la plus prolifique est la Grande Saison Sèche (GSS) qui présente 5371 individus (soit 31,3 % d'abondance relative) suivie de la Petite Saison de Pluie (PSP) avec 4787 individus (soit 27,9% d'abondance relative) (Figure 32). La Petite Saison Sèche (PSS) et la Grande Saison de Pluie (GSP) viennent enfin avec respectivement 3520 individus (soit 20,52% d'abondance relative) et 3480 individus (soit 20,28% d'abondance relative). Dans l'ensemble, aucune différence significative n'a été observée d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).



**Figure 32 :** Abondance relative saisonnière des MIB pendant la période d'étude

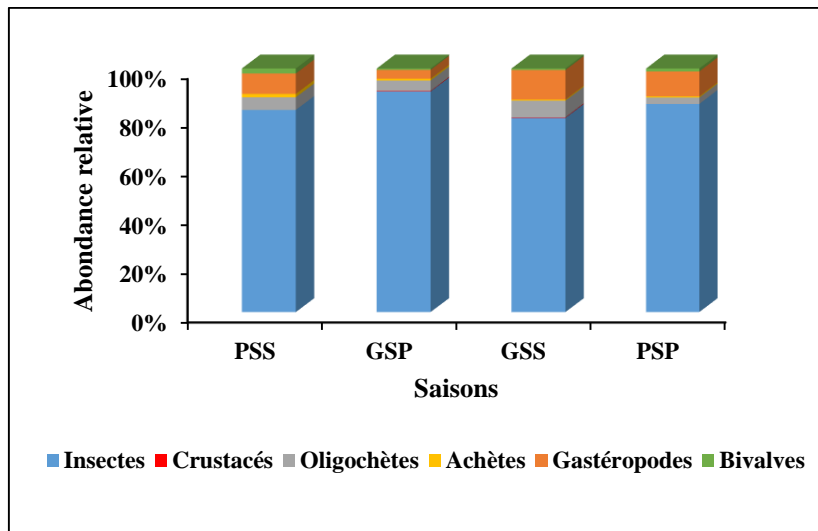
#### ✚ S'agissant des Classes,

Au cours de la Petite Saison Sèche (PSS) (Figure 33), on note la prédominance des Insectes avec 2923 individus (soit 83,04% d'abondance relative) suivis des Gastéropodes avec 294 individus (soit 8,35% d'abondance relative) et des Oligochètes avec 182 individus (soit 5,17% d'abondance relative). Viennent ensuite les Bivalves et les Achètes comptant respectivement 72 individus (soit 2,05% d'abondance relative) et 49 individus (soit 1,39% d'abondance relative).

Durant la Grande Saison de Pluie (GSP), les Insectes ont largement dominé le peuplement avec 3153 individus (soit 90,6% d'abondance relative), suivis des Oligochètes avec 148 individus (soit 4,25% d'abondance relative) et des Gastéropodes avec 127 individus (soit 3,65% d'abondance relative). Les Achètes, les Bivalves et les Crustacés clôturent avec respectivement 25 individus (soit 0,72% d'abondance relative), 19 individus (soit 0,55% d'abondance relative) et 8 individus (soit 0,23% d'abondance relative) (Figure 33).

Pendant la Grande Saison Sèche (GSS), les Insectes se démarquent également avec 4286 individus (soit 79,8% d'abondance relative) suivis des Gastéropodes avec 649 individus (soit 12,08% d'abondance relative) et des Oligochètes avec 366 individus (soit 6,81% d'abondance relative). Les Bivalves, les Achètes et les Crustacés sont très peu représentés (Figure 33) et comptent respectivement 34 individus (soit 0,63% d'abondance relative), 24 individus (soit 0,45% d'abondance relative) et 12 individus (soit 0,22% d'abondance relative).

Pour ce qui est de la Petite Saison de pluie (PSP), elle se caractérise également par la prédominance des Insectes avec 4093 individus (soit 85,5% d'abondance relative) (Figure 33). Les Gastéropodes suivent avec 489 individus (soit 10,22% d'abondance relative), puis viennent les Oligochètes avec 125 individus (soit 2,61% d'abondance relative). Les classes des Bivalves et des Achètes clôturent avec respectivement 57 individus (soit 1,19% d'abondance relative) et 23 individus (soit 0,48% d'abondance relative).



**Figure 33** : Abondance relative des classes de MIB à chaque saison pendant la période d'étude

✚ Concernant les Ordres,

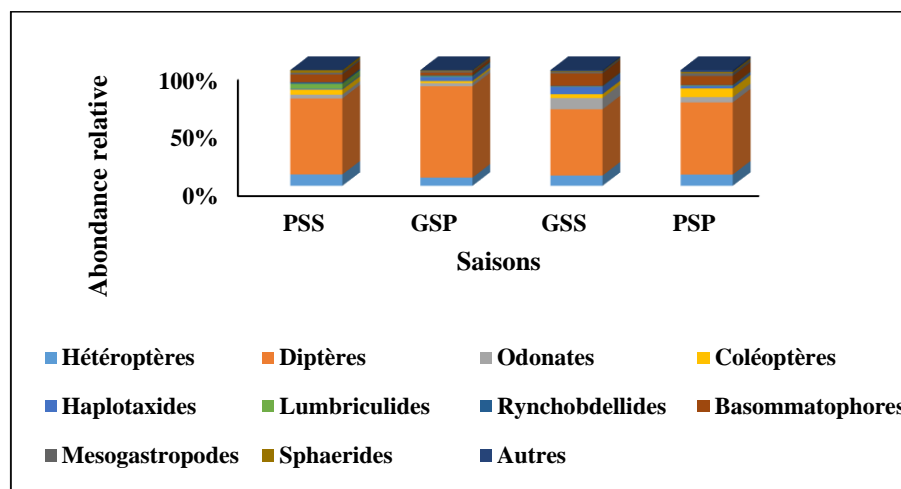
Au cours de la Petite Saison Sèche (PSS) (Figure 34), on a observé la prédominance des Diptères avec 2310 individus (soit 65,63% d'abondance relative), suivis des Hétéroptères avec 345 individus (soit 9,8% d'abondance relative) et des Basommatophores avec 240 individus (soit 6,82% d'abondance relative). Puis viennent les Coléoptères et les Lumbriculides avec chacun 154 individus (soit 4,38% d'abondance relative). Les ordres les moins abondants (Ephéméroptères, Isopodes, Arynchobdellides, Unionoides et Trichoptères) comptent, tous réunis, 8 individus (soit 0,23% d'abondance relative).

Durant la Grande Saison de Pluie (GSP), les Diptères dominent également le peuplement avec 2746 individus (soit 78,91% d'abondance relative). Ils sont suivis des Hétéroptères avec 246 individus (soit 7,07% d'abondance relative) et des Haplotaxides avec 127 individus (soit 3,65% d'abondance relative) (Figure 34). Viennent ensuite les Odonates avec 95 individus (soit 2,73% d'abondance relative) et les Basommatophores avec 87 individus (soit 2,50% d'abondance relative). Les ordres les moins abondants totalisent ensemble 16 individus (soit 0,46 % d'abondance relative).

Pendant la Grande Saison Sèche (GSS), on enregistre une fois de plus la prédominance des Diptères avec 3072 individus (soit 57,20% d'abondance relative). Les Basommatophores et les Odonates suivent avec respectivement 581 individus (soit 10,82% d'abondance relative) et 521 individus (9,7% d'abondance relative) (Figure 34). Puis viennent les Hétéroptères avec 476 individus (soit 8,86% d'abondance relative) et les Haplotaxides avec 351 individus (soit 6,54%

d'abondance relative). Les ordres les moins abondants comptent, tous réunis, 55 individus (soit 1,02% d'abondance relative).

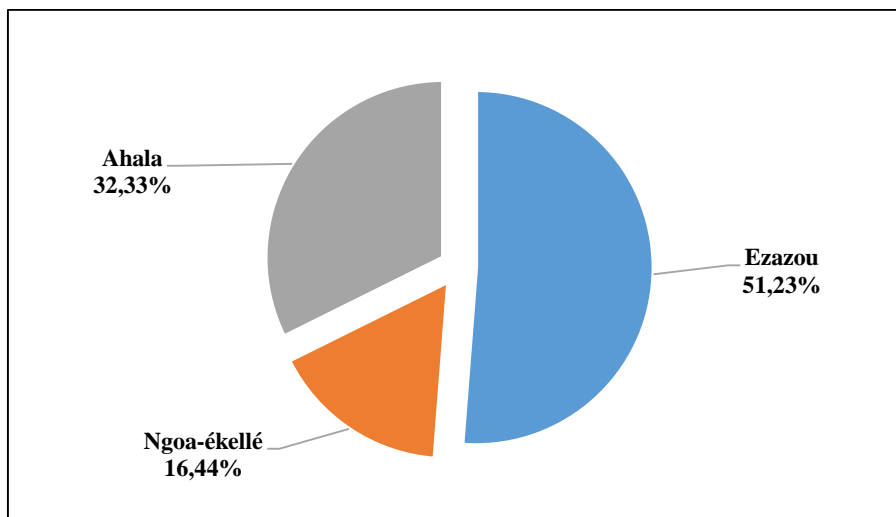
La Petite Saison de pluie (PSP) se caractérise comme les autres par la prédominance des Diptères avec 2983 individus (soit 62,31% d'abondance relative). Ils sont suivis par les Hétéroptères avec 465 individus (soit 9,71% d'abondance relative) et les Basommatophores avec 374 individus (soit 7,81% d'abondance relative). Les Coléoptères dénombrent 360 individus (soit 7,52% d'abondance relative) alors que les Odonates comptent 217 individus (soit 4,53% d'abondance relative). Les ordres les moins abondants comptabilisent tous ensemble 78 individus (soit 1,63% d'abondance relative).



**Figure 34 :** Abondance relative des ordres de MIB à chaque saison pendant la période d'étude

### III.1.3.3. Variation spatiale de l'abondance relative des MIB

Sur les 17158 organismes récoltés tout au long de cette étude, le site d'Ezazou a enregistré 8790 individus soit 51,23 % d'abondance relative (Figure 35) suivi du site d'Ahala avec 5547 individus soit 32,33 % d'abondance relative et du site de Ngoa-ékellé avec 2821 individus soit 16,44 % d'abondance relative.

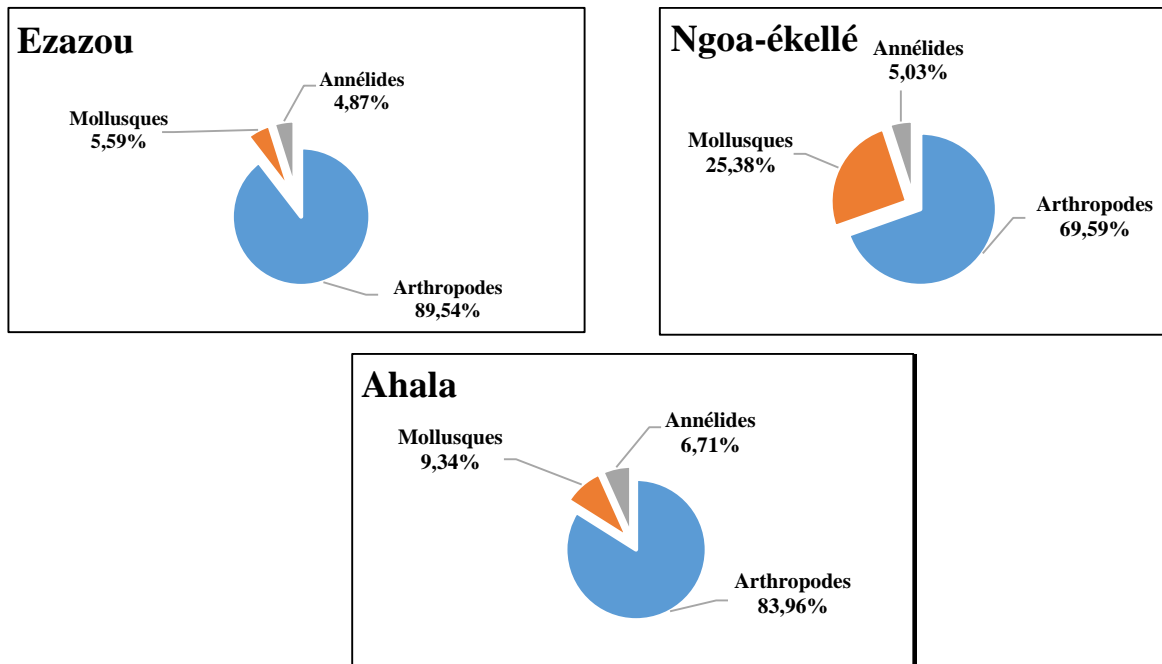


**Figure 35** : Abondance relative des MIB dans les différents sites pendant la période d'étude

Dans le site d'Ezazou (Figure 36), 7871 individus ont été dénombrés dans l'embranchement des Arthropodes soit 89,54% d'abondance relative, puis 491 dans l'embranchement des Mollusques soit 5,58% d'abondance relative et enfin 428 dans l'embranchement des Annélides soit 4,88% d'abondance relative.

Dans le site de Ngoa-ékellé, les Arthropodes ont représenté 69,58% d'abondance relative avec 1963 individus suivis des Mollusques avec 716 individus, soit 25,38% d'abondance relative et enfin des Annélides avec 142 individus, soit 5,03% d'abondance relative (Figure 36).

Concernant le site d'Ahala, les Arthropodes ont dominé avec 4657 individus soit 83,95% d'abondance relative suivis des Mollusques avec 518 individus soit 9,34% d'abondance relative et des Annélides avec 372 individus soit 6,71% d'abondance relative (Figure 36). Ainsi donc, dans l'ensemble, les Arthropodes ont été de loin les plus abondants quel que soit le site par rapport aux Annélides et Mollusques.



**Figure 36 :** Abondance relative des embranchements dans chaque site pendant la période d'étude

### III.1.3.4. Richesse taxonomique des MIB dans les différents sites

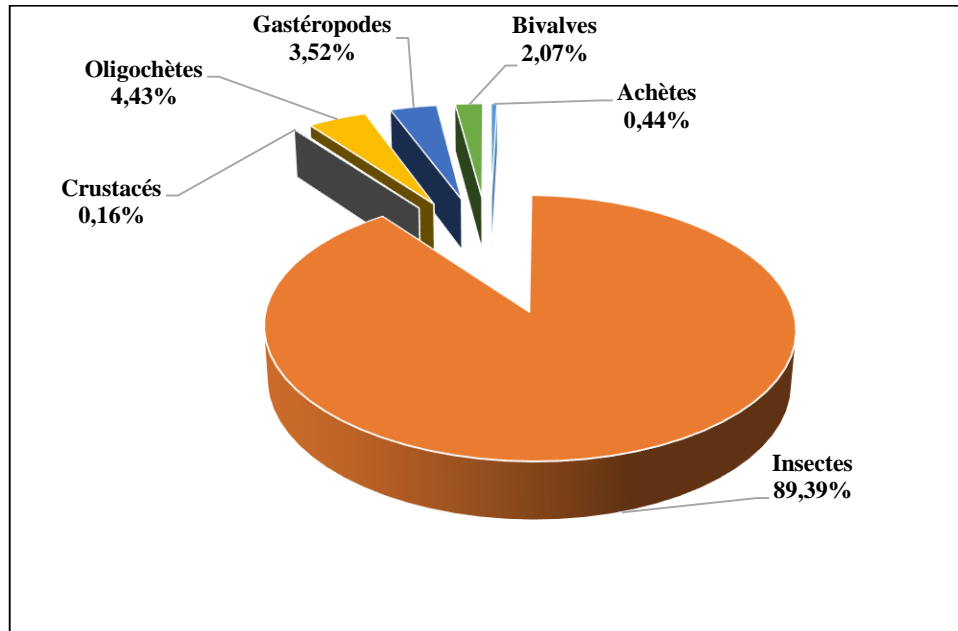
#### III.1.3.4.1. Site d'Ezazou

Un total de 8790 organismes appartenant à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 6 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 14 ordres, 57 familles et 99 genres et/ou espèces ont été récoltés dans le bas-fond d'Ezazou (Tableau II), représentant ainsi 51,23 % d'abondance relative.

L'embranchement des Arthropodes est le plus abondant avec 7871 individus (soit 89,54% d'abondance relative) répartis en 2 classes, 6 ordres, 41 familles et 65 genres/espèces suivi des Mollusques avec 491 individus (soit 5,58% d'abondance relative) répartis en 2 classes, 2 ordres, 10 familles et 22 genres/espèces et des Annélides avec 428 individus (soit 4,88% d'abondance relative) répartis en 2 classes, 3 ordres, 8 familles et 12 genres/espèces

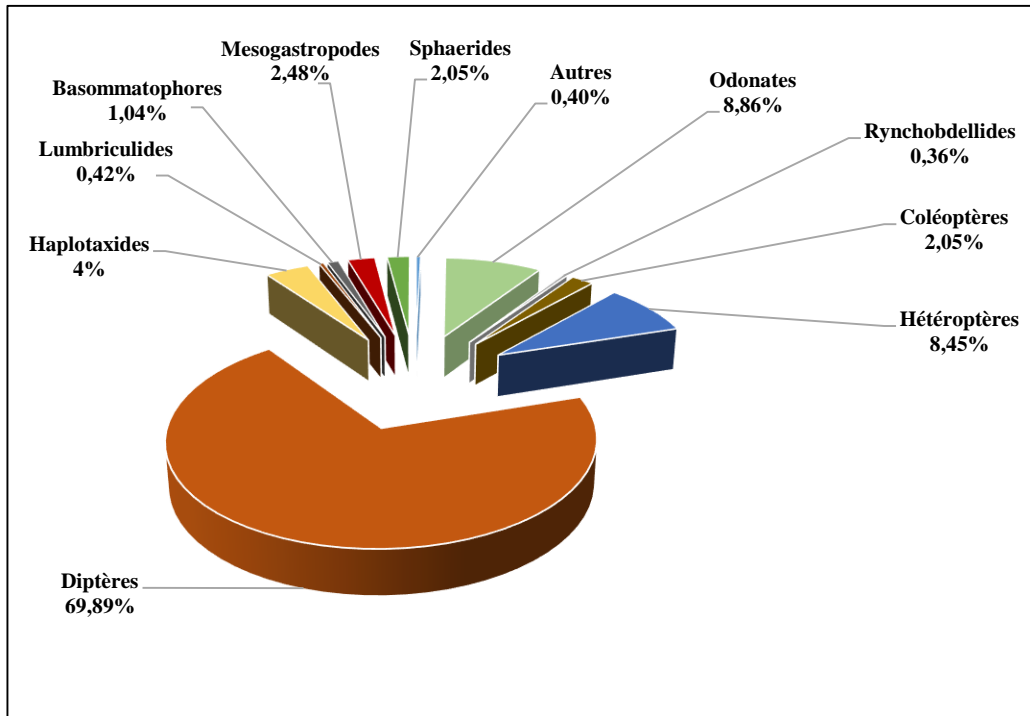
La classe des Insectes est la plus représentée avec 7857 individus (soit 89,39 % d'abondance relative). Elle compte 5 ordres répartis en 40 familles et 70 genres/espèces (Figure 37), suivie des Oligochètes avec 389 individus (soit 4,43 % d'abondance relative) comptant 2 ordres, 6 familles et 8 genres/espèces, des Gastéropodes avec 309 individus (soit 3,52 % d'abondance relative) comprenant 1 ordre, 8 familles et 20 genres/espèces, des Bivalves avec

182 individus (soit 2,07 % d'abondance relative) avec 1 ordre, 2 familles et 2 genres/espèces, des Achètes avec 39 individus (soit 0,44 % d'abondance relative) avec 2 ordres, 2 familles et 5 genres/espèces et enfin des Crustacés avec 14 individus (soit 0,16 % d'abondance relative) avec 1 ordre, 1 famille et 1 genre/espèce.

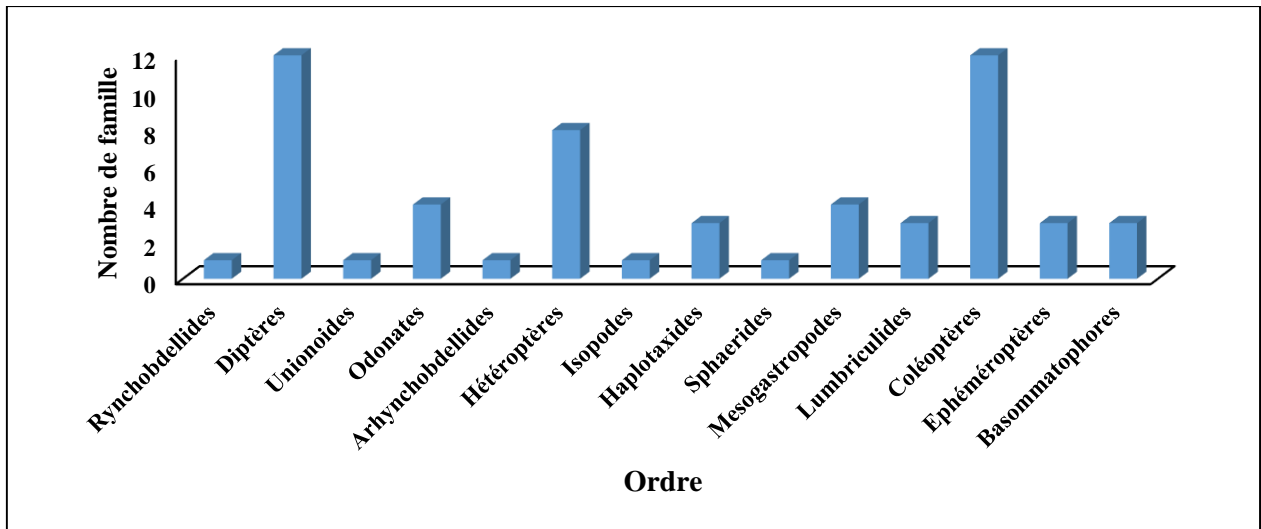


**Figure 37 :** Abondance des classes de MIB dans le site d'Ezazou pendant la période d'étude

Quant aux ordres, celui des Diptères (Figure 38) est le plus abondant dans ce site avec 6143 individus (soit 69,89% d'abondance relative) répartis en 12 familles (Figure 39). Il est suivi des ordres des Odonates avec 779 individus (soit 8,86% d'abondance relative) répartis en 4 familles (Figure 38), des Hétéroptères comptant 743 individus (soit 8,45% d'abondance relative) répartis en 8 familles. Puis viennent les Haplotoxides (Figure 38) avec 352 individus (soit 4% d'abondance relative) répartis en 3 familles (Figure 39) et les Mesogastropodes comptant 218 individus (soit 2,48 % d'abondance relative) répartis en 4 familles. Les ordres les moins abondants étant ceux des Isopodes, des Ephéméroptères et des Unionoides qui totalisent 35 individus (soit 0,4% d'abondance relative).



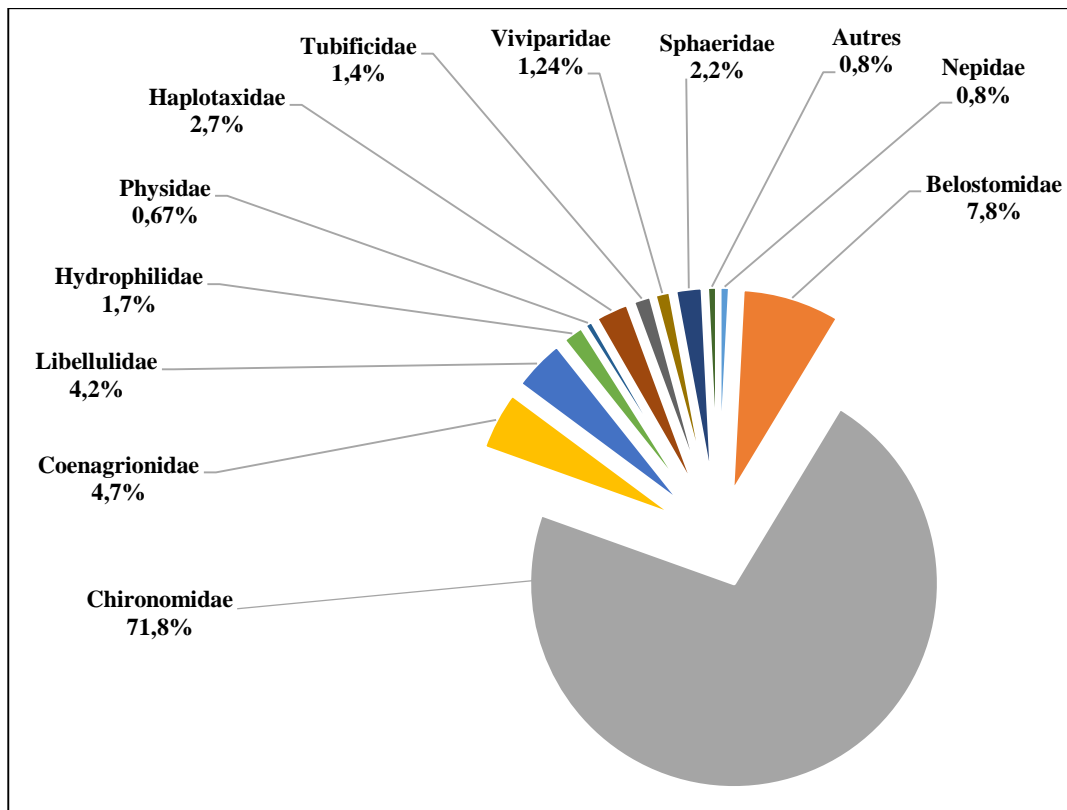
**Figure 38 :** Abondance des ordres de MIB dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude



**Figure 39 :** Abondance relative des ordres de MIB par famille dans le site d’Ezazou pendant la période d’étude

Concernant les familles, celle des Chironomidae a largement dominé avec 71,8% d’abondance relative (Figure 40), suivie des Belostomatidae (7,8% d’abondance relative), des Coenagrionidae (4,7% d’abondance relative) et des Libellulidae (4,2% d’abondance relative). Les familles les moins abondantes ont enregistré tous réunies 0,8% d’abondance relative; il

s'est agi entre autres de celle des Lymnaeidae, des Noteridae, des Glossiphonidae et des Enchytraeidae.



**Figure 40 :** Abondance des familles de MIB dans le site d'Ezazou pendant la période d'étude

- **Station Od 1**

Un total de 4367 organismes appartenant à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 6 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 12 ordres, 31 familles et 47 genres et/espèces a été récolté à la station Od 1, représentant ainsi 49, 68 % d'abondance relative (Tableau II).

- **Station Od 2**

Un total de 1344 organismes (soit 15, 29 % d'abondance relative) appartenant à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 5 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 12 ordres, 38 familles et 68 genres et/espèces a été récolté à la station Od 2.

- **Station Od 3**

Un total de 1698 organismes appartenant à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 5 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 11 ordres, 33 familles et 50 genres et/espèces a été récolté à la station Od 3. Ces organismes représentent 19, 32 % d'abondance relative.

- **Station Od 4**

Un total de 1381 organismes appartenant à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 5 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes, Gastéropodes et Bivalves), 12 ordres, 32 familles et 47 genres et/espèces a été récolté à la station Od 2. Ces organismes représentent 15, 71 % d'abondance relative.

**Tableau II** : Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site d'Ezazou pendant la période d'étude

Classe	Ordre	Famille	Especes/tribu/sFa	Od 1	Od 2	Od 3	Od 4
Insectes	Hétéroptères	Nepidae	<i>Nepa</i> sp	34	3	13	1
			<i>Laccotrephes</i> sp	10	2	1	5
		Gerridae	<i>Gerris</i> sp	1			
		Belostomatidae	<i>Lethocerus</i> sp	2		2	3
			<i>Appasus</i> sp	80	227	233	106
			<i>Sphaerodema nepoides</i>				1
		Vellidae	<i>Velia</i> sp	1	5	1	
			<i>Microvelia</i> sp	1	2	1	
		Corixidae	<i>Artocoris</i> sp				
			<i>Micronecta</i> sp	1			
		Naucoridae	<i>Naucoris</i> sp		1		
			<i>Ilyocoris</i> sp	1			
		Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp	1			
		Mesovelidae	<i>Mesovelia</i> sp		4		
	Diptères	Chironomidae	Chironomini nd	2029	377	775	495
			<i>Chironomus</i> sp	1824	88	283	55
			Orthocladinae nd	1	8	5	4
			Tanytopodinae nd	7	12	12	10
			Tanytarsini nd			14	
		<i>Coryoneura</i> sp	1				
		Athericidae	<i>Atrichops crassipes</i>	10	5	2	1
		Simuliidae	Simulini nd	14	12	12	12
		Syrphidae	nd		1	1	2
		Cératopogonidae	nd	9	8		6
		Limoniidae	<i>Hexatoma</i> sp	1			1
		Scatophagidae	<i>Acanthocnema</i> sp		1	1	
		Psychodidae	nd				1
		Culicidae	<i>Culex</i> sp			37	
		Chaoboridae	nd		1		
		Tipulidae	nd	3	1		
		Stratiomyidae	nd			1	
		Odonates	Coenagrionidae	<i>Coenagrion pro parte</i>	18	169	113
	<i>Sympetrum pro parte</i>				11	2	
	<i>Argia</i> sp				1		
	<i>Somatochlora pro parte</i>			7			
	<i>Erythronma viridis</i>			3			
	Libellulidae	<i>Libellula</i> sp	7	24	11	13	
<i>Orthetrum</i> sp		19	132	56	80		

			<i>Brachytemis leucosticta</i>		4		
			<i>Diplacodes lefebvriel</i>				
		Cordulegasteridae	<i>Cordulegaster</i> sp	7	12		1
		Corduliidae	<i>Oxygastra curtisii</i>		14	1	1
			<i>Cordulia aenae</i>		4		
	Coléoptères	Hydrophilidae	<i>Laccobius</i> sp		1		
			<i>Helochares</i> sp		1		
			<i>Grenitis</i> sp	2			
			<i>Cymbiodyta</i> sp				1
			<i>Hydrophilus</i> sp	2			
			<i>Hydrocara</i> sp	2	9	4	2
			<i>Coelostama</i> sp			1	
			<i>Chaetarthria</i> sp	40	11	43	12
		<i>Amphiobs</i> sp	4	4	1	3	
		Dytiscidae	<i>Laccophilus</i> sp				1
			<i>Copelatus</i> sp				1
		Noteridae	<i>Noterus</i> sp	2		1	1
		Elmidae	<i>Potamophilus</i> sp		1		
		Haliplidae	<i>Halipus</i> sp		1		
		Spercheidae	<i>Spercheus</i> sp				
				3			
		Gyrinidae	<i>Olonogyrus</i> sp				1
		Hydroscaphidae	<i>Hydroscapha</i> sp				3
		Hydrochidae	<i>Hydrochus</i> sp				
					2		
	Curculionidae	nd		1			
	Scirtidae	<i>Hydrocyphon</i> sp		1		1	
		<i>Eretes</i> sp		3			
	Chrysomelidae	<i>Macropléa</i> sp	3	4	7		
Ephéméroptères	Baetidae	<i>Baetis</i> sp	1			2	
		<i>Cloéon</i> sp	1	3		1	
		<i>Procléon pennutum</i>				1	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulius bellus</i>				1	

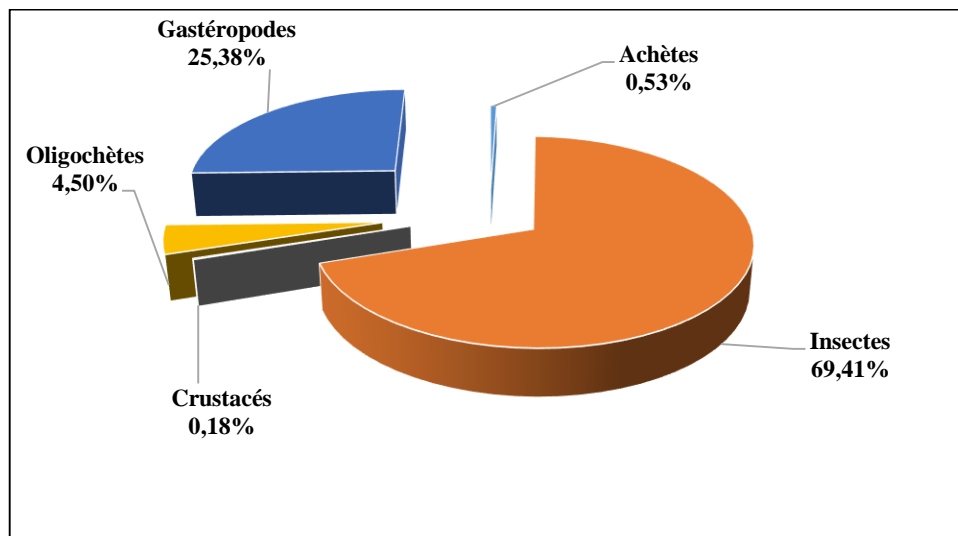
			<i>Metreletus balcanicus</i>				1	
		Caenidae	<i>Caenis</i> sp		1			
Crustacés	Isopodes	Asellidae	<i>Aselius aquaticus</i>	4	10			
oligochètes	Haplotaxides	Haplotaxidae	<i>Haplotaxis</i> sp	176	3	10	34	
		Sparganophilidae	<i>Sparganophilus tamesis</i>	3	1	3		
			<i>Sparganophilus benham</i>		1			
		Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp			1	2	
	<i>Branchiura sowerbyi</i>				3	115		
	Lumbricidae		<i>Eiseniella tetraedra</i>	1		1	18	
	Lumbriculides	Enchytraeidae	nd		1	3		
Lumbriculidae		<i>Stygodrilus heringianus</i>	4	4	2	3		
Aryncobdellides		Erpobdellidae	<i>Hemiclepsis marginata</i>	1	3			
	<i>Dina lineata</i>		1	2				
	Ryncobdellides	Glossiphonidae	<i>Haementeria costata</i>	5	4	4	14	
			<i>Glossiphonia</i>			2		
<i>Batracobdella paludosa</i>					3			
Gastéropodes	Basommatophores	Physidae	<i>Physa</i> sp		5	1		
			<i>Aplexa hypnorum</i>	5	43	2		
		Lymnaeidae	<i>Lymnaea natalensis</i>		3			
			<i>Stagnicola</i> sp	5	6	1		
			<i>Radix</i> sp		4			
			<i>Galba truncatula</i>		2		5	
		Planorbidae	<i>Bulinus</i> sp		3			
			<i>Gyraulus</i> sp			2	4	
		Mesogastropodes	Melaniidae	<i>Melanoides manguensis</i>		5	4	1
				<i>Melanoides pergracilis</i>		1		1
	<i>Melanoides vitoriae</i>				1	2		
	<i>Bridouxa giraudi</i>				2		16	
	Viviparidae		<i>Viviparus</i> sp		21	3	18	
			<i>Bellamya capillata</i>		25		33	
			<i>Bellamya costulata</i>				3	
			<i>Bellamya phtbinotropsis</i>			1		
	Hydrobiidae		<i>Lithoglyphus naticoides</i>		7	14	36	
			<i>Hydrobia accrensensis</i>		4			
	Pilidae	<i>Pila africana</i>	18					
		<i>Pila ovata</i>	2					
Bivalves	Sphaerides	Sphaeriidae	<i>Sphaerium</i> sp			2	178	
	Unionoides	Mutelidae	<i>Aspatharia</i> sp				2	

### III.1.3.4.2. Site de Ngoa-ékellé

Un total de 2821 organismes a été récolté dans le site de Ngoa-ékellé. Ces organismes appartiennent à 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 5 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 12 ordres, 40 familles et 64 genres et/espèces (Tableau III).

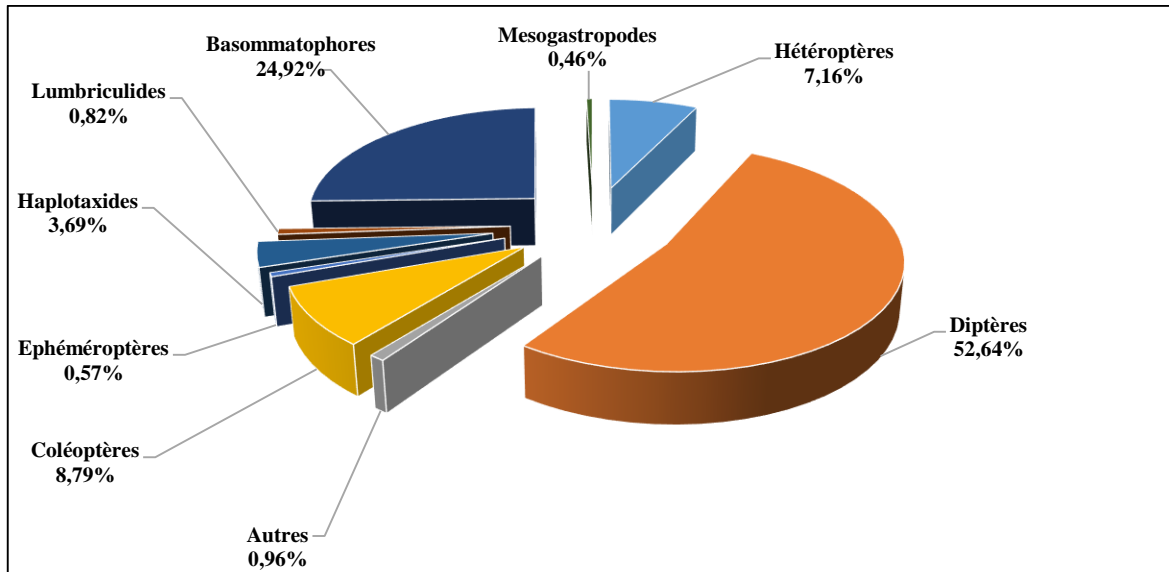
L'embranchement des Arthropodes est le plus représenté avec 1963 individus (soit 69,58% d'abondance relative) réparties en 2 classes, 6 ordres, 28 familles et 44 genres/espèces, suivi des Mollusques avec 716 individus (soit 25,38% d'abondance relative) comptant 1 classe, 2 ordres, 4 familles et 11 genres/espèces et des Annélides avec 142 individus (soit 5,03% d'abondance relative) réparties en 2 classes, 4 ordres, 8 familles et 12 genres/espèces.

La classe des Insectes est la plus représentée (Figure 41) avec 1958 individus (soit 69,41% d'abondance relative) répartis en 5 ordres, 27 familles et 46 genres et/espèces, suivie des Gastéropodes avec 716 individus (soit 25,38% d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 4 familles et 11 genres et/espèces, des Oligochètes avec 127 individus (soit 4,5% d'abondance relative), répartis en 2 ordres, 6 familles et 7 genres et/espèces. Les Achètes viennent ensuite avec 15 individus (soit 0,53% d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 2 familles et 5 genres et/espèces, suivis des Crustacés avec 5 individus (soit 0,18% d'abondance relative) répartis en 1 ordre, 1 famille et 1 genre et/espèce.

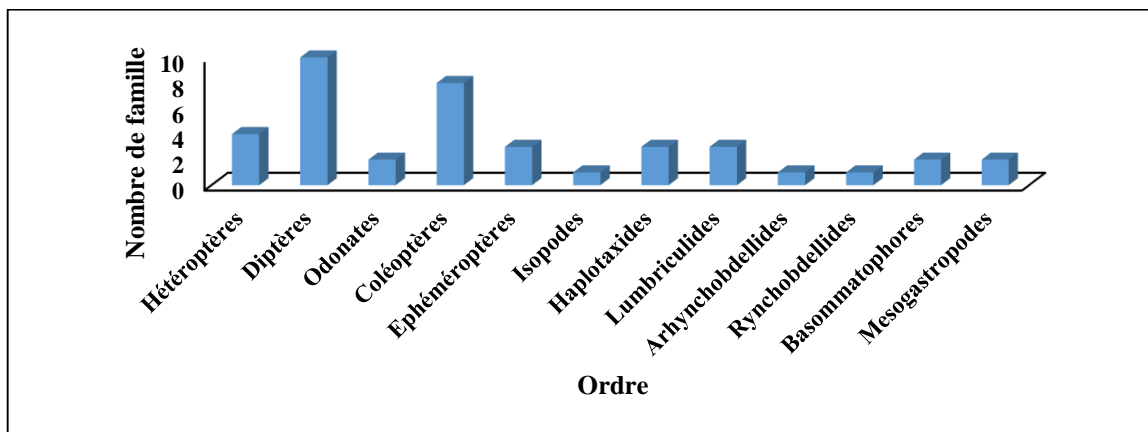


**Figure 41 :** Abondance des classes de MIB dans le site de Ngoa-ékelle pendant la période d'étude

L'ordre des Diptères est le plus représenté (Figure 42) avec 1485 individus (représentant 52,64% d'abondance relative) répartis en 10 familles (Figure 43). Il est suivi des Basommatophores ayant 703 individus (soit 24,92% d'abondance relative) appartenant à 2 familles. Viennent ensuite les ordres des Coléoptères avec 248 individus (soit 8,79% d'abondance relative) ayant 8 familles, et des Hétéroptères avec 202 individus (soit 7,16% d'abondance relative) avec 4 familles. Les ordres les moins abondants étant ceux des Odonates, des Rynchobdellides, des Isopodes et des Arhynchobdellides qui enregistrent au total 27 individus (soit 0,96% d'abondance relative).

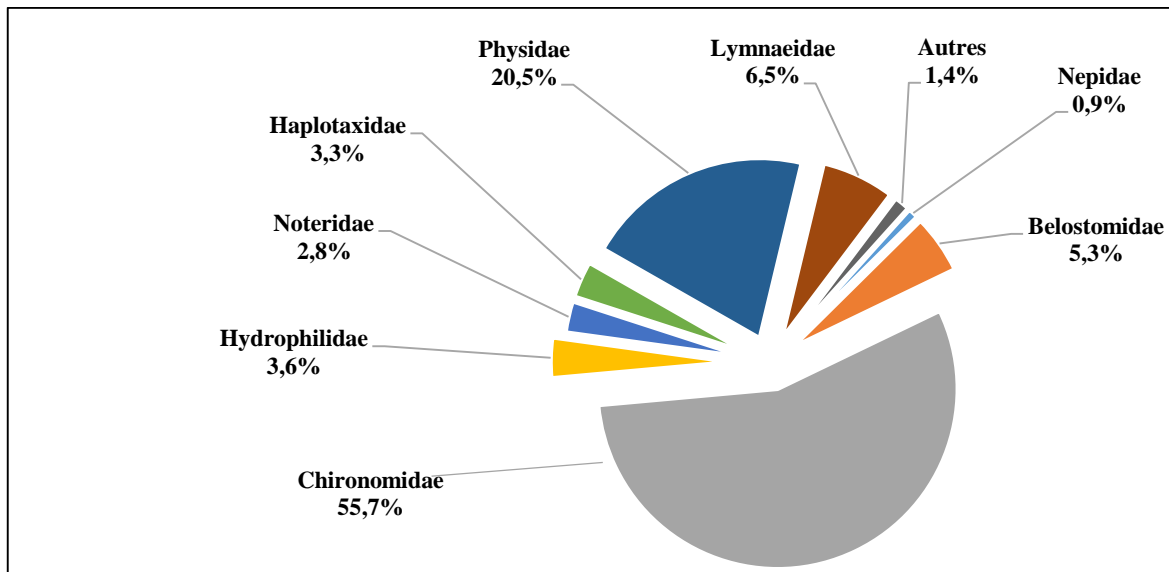


**Figure 42 :** Abondance des ordres de MIB dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d'étude



**Figure 43 :** Abondance relative des familles par ordre dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d'étude

Concernant les familles, celle des Chironomidae a également dominé, représentant 55,7% d'abondance relative (Figure 44) suivie des Physidae (20,5% d'abondance relative), des Lymnaeidae (6,5% d'abondance relative) et des Belostomatidae (5,3% d'abondance relative). Puis viennent les Hydrophilidae (3,6% d'abondance relative) et les Haplotaxidae (3,3% d'abondance relative). Les familles les moins abondantes ont été entre autres celles des Tubificidae, des Coenagrionidae, des Enchytraeidae, des Glossiphonidae et des Libellulidae qui totalisent 1,4% d'abondance relative.



**Figure 44** : Abondance des familles dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d'étude

- **Station Ole 1**

Un total de 682 organismes (soit 24, 17 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 5 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 11 ordres, 17 familles et 28 genres et/espèces a été récolté à la station Ole 1 (Tableau III).

- **Station Ole 2**

Un total de 741 organismes (soit 26, 27 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 10 ordres, 19 familles et 31 genres et/espèces a été récolté à la station Ole 2.

- **Station Ole 3**

Un total de 688 organismes (soit 24,39 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 9 ordres, 21 familles et 26 genres et/espèces a été récolté à la station Ole 3.

- **Station Ole 4**

Un total de 710 organismes (soit 25, 17 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 9 ordres, 23 familles et 37 genres et/espèces a été récolté à la station Ole 4.

**Tableau III** : Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site de Ngoa-ékellé pendant la période d'étude

Classe	Ordre	Famille	Especies/tribu/sFa	Ole 1	Ole 2	Ole 3	Ole 4		
Insectes	Hétéroptères	Nepidae	<i>Nepa sp</i>	6		8	1		
			<i>Laccotrephes sp</i>	4		4	1		
		Belostomatidae	<i>Lethocerus sp</i>			1			
			<i>Appasus sp</i>	99	20	16	1		
			<i>Micronecta sp</i>		36				
		Naucoridae	<i>Naucoris sp</i>	2					
			<i>Ilyocoris sp</i>	2					
		Notonectidae	<i>Notonecta sp</i>				1		
		Diptères	Chironomidae	Chironomini nd	329	492	300	182	
				<i>Chironomus sp</i>	59	76	2	5	
	Tanypodinae nd					2	1		
	Tanytarsini nd				1				
	Athericidae		<i>Atrichops crassipes</i>				1		
	Simuliidae		Simulini nd			2			
	Syrphidae		nd				7	1	
	Cératopogonidae		nd			10		1	
	Psychodidae		nd				2	4	
	Culicidae		<i>Culex sp</i>						
	Chaoboridae		nd			2			
	Tabanidae		nd					3	
	Sciomyzidae		nd					1	2
	Odonates		Coenagrionidae	<i>Coenagrion pro parte</i>	2	3			
		<i>Orthetrum sp</i>			1				
		<i>Brachytemis leucosticta</i>			1				
		Cordulegasteridae	<i>Cordulegaster sp</i>						
	Coléoptères	Hydrophilidae	<i>Boreus sp</i>	8					
			<i>Hydrophilus sp</i>				1		
			<i>Hydrocara sp</i>	6	1	1	1		
			<i>Chaetarthria sp</i>	21	2	8	15		
			<i>Amphiobs sp</i>	19	8	2	1		
		Dytiscidae	<i>Laccophilus sp</i>	15	1				
		Noteridae	<i>Noterus sp</i>	21	43	9			
		Haliplidae	<i>Halipus sp</i>	1					
			<i>Peltodytes sp</i>	1					
		Hydraenidae	<i>Hydraena sp</i>					2	
		Hydroscaphidae	<i>Hydroscapha sp</i>					1	
	Scirtidae	<i>Hydrocyphonsp</i>	37						
		<i>Graphoderus sp</i>	1						

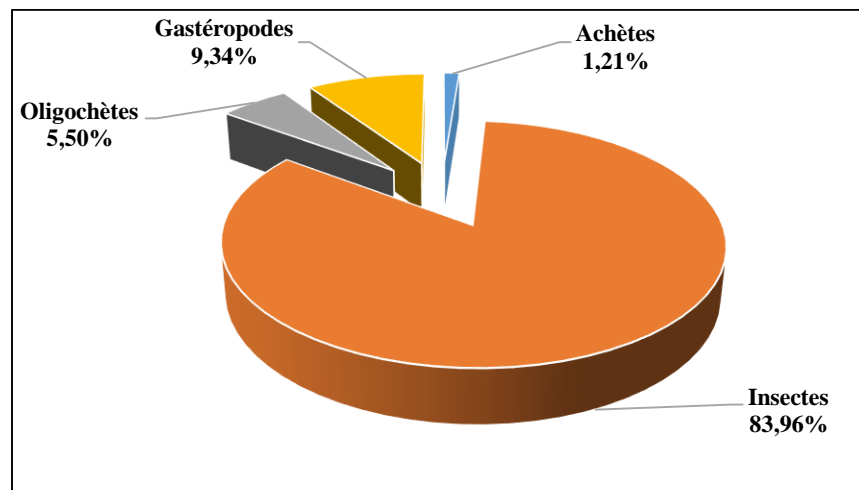
			<i>Cyphon</i> sp	16				
			<i>Elodes</i> sp	3				
		Chrysomelidae	<i>Macropilea</i> sp				3	
	Ephéméroptères	Baetidae	<i>Cloëon</i> sp	1	1			
			<i>Proclëon pennutum</i>		1			
		Leptophlebiidae	<i>Adenophlebiodes</i> sp		5			
		Ameletidae	<i>Metreletus tenellus</i>		2			
			<i>Metreletus balcanicus</i>		6			
Crustacés	Isopodes	Asellidae	<i>Aselius aquaticus</i>	5				
oligochètes	Haplotaxides	Haplotaxidae	<i>Haplotaxis</i> sp		1	50	34	
		Sparganophilidae	<i>Sparganophilus tamesis</i>	1		6	2	
			<i>Sparganophilus benham</i>		1		1	
		Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp				1	
	<i>Branchiura sowerbyi</i>				3		4	
	Lumbriculides	Lumbricidae	<i>Eiseniella tetraedra</i>				1	5
		Enchytraeidae	<i>nd</i>				1	10
Lumbriculidae		<i>Stylodrilus heringianus</i>	3	1	2			
Achètes	Arhynchobdellides	Erpobdellidae	<i>Hemiclepsis marginata</i>	3		1		
			<i>Trocheta</i> sp				1	
	Ryncobdellides	Glossiphoniidae	<i>Haementeria costata</i>		2	1	1	
			<i>Glossiphonia</i>		1		4	
			<i>Batracobdella paludosa</i>				1	
Gastéropodes	Basommatophores	Physidae	<i>Physa</i> sp	7	14	213	245	
			<i>Physa acuta</i>	9		45		
		Lymnaeidae	<i>Lymnaea natalensis</i>				1	164
			<i>Stagnicola</i> sp					1
			<i>Radix</i> sp					4
	Mesogastropodes	Melaniidae	<i>Melanoides manguensis</i>		1	2	2	
			<i>Melanoides vitoriae</i>	1			2	
			<i>Potadoma freerhi</i>			2		
			<i>Bathyomphalus contortus</i>				1	
		Neritidae	<i>Theodoxus fluviatilis</i>				1	
		<i>Tonichia zwellendanensis</i>				1		

### III.1.3.4.3. Site d'Ahala

Un total de 5547 organismes répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 11 ordres, 39 familles et 74 genres et/espèces a été récolté dans le site d'Ahala (Tableau IV). Ces organismes représentent 32,33 % d'abondance relative et 53,24 % de richesse spécifique relative.

L'embranchement des Arthropodes a dominé avec 4657 individus (83,96% d'abondance relative) répartis en 1 classe, 6 ordres, 27 familles et 44 genres et/espèces, suivi des Mollusques avec 518 individus (soit 9,34% d'abondance relative) répartis en 1 classe, 2 ordres, 5 familles et 17 genres et/espèces et des Annélides avec 372 individus (6,7% d'abondance relative) répartis en 2 classes, 4 ordres, 8 familles et 11 genres et/espèces.

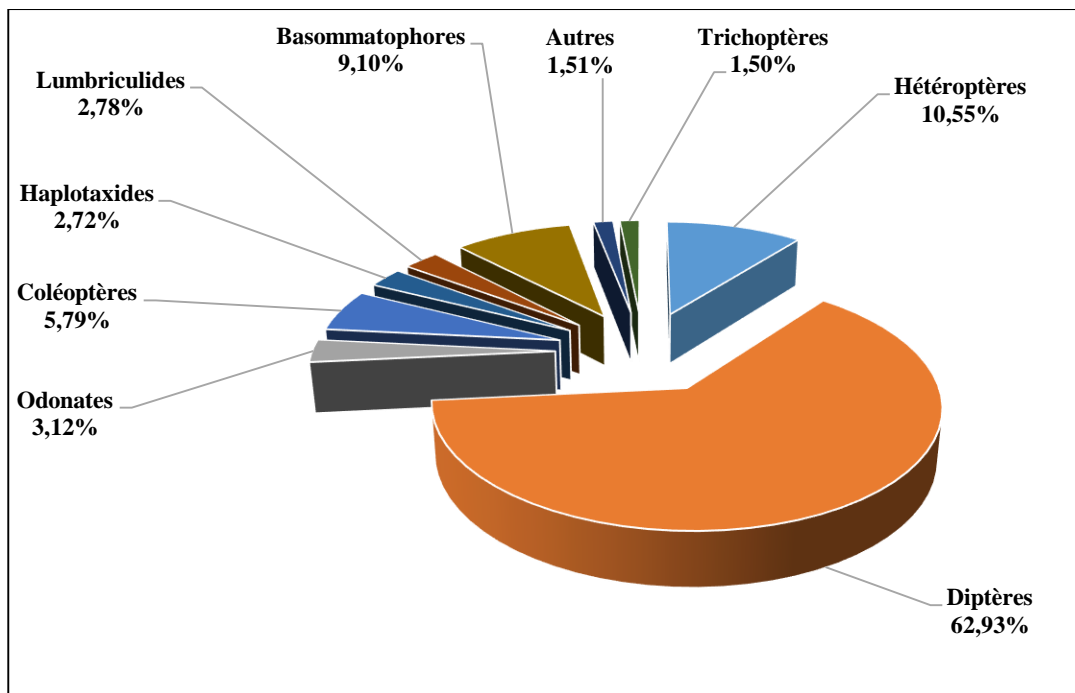
La classe des Insectes est la plus représentée (Figure 45) avec 4657 individus (soit 83,96 % d'abondance relative) comptant 6 ordres répartis en 27 familles et 44 genres et/espèces, suivie des Gastéropodes avec 518 individus, soit 9,34 % d'abondance relative comptant 2 ordres, 5 familles et 17 genres et/espèces. Viennent ensuite les Oligochètes avec 305 individus (soit 5,5 % d'abondance relative) comprenant 2 ordres, 6 familles et 6 genres et/espèces et les Achètes avec 67 individus (soit 1,2 % d'abondance relative) répartis en 2 ordres, 2 familles et 5 genres et/espèces.



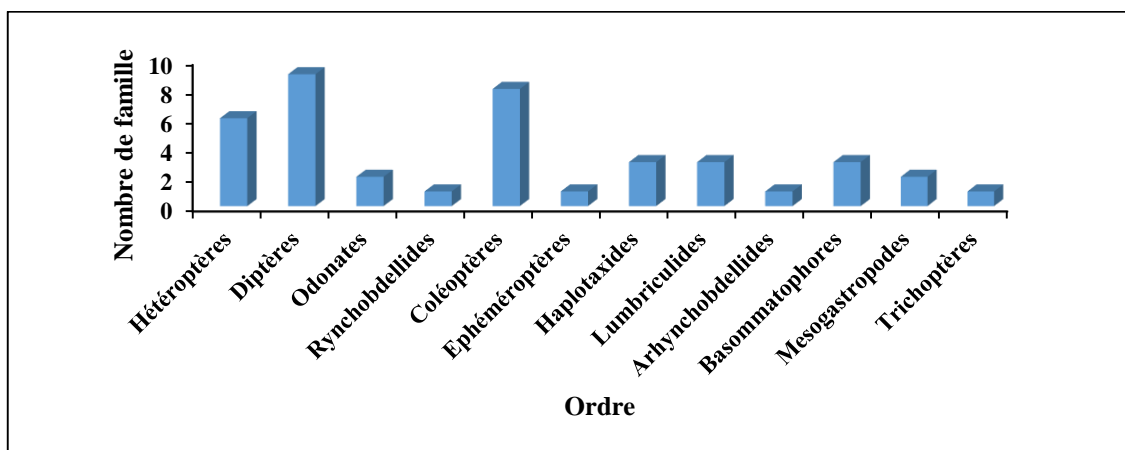
**Figure 45 :** Abondance des classes de MIB dans le site d'Ahala pendant la période d'étude

Parmi les ordres identifiés, celui des Diptères (Figure 46) est le plus représenté avec 3491 individus (soit 62,93% d'abondance relative) répartis en 9 familles (Figure 47) suivi des Hétéroptères avec 585 individus (soit 10,55% d'abondance relative) répartis en 6 familles et

des Basommatophores avec 505 individus (soit 9,1% d'abondance relative) répartis en 3 familles. Suivent ensuite les Coléoptères avec 321 individus (soit 5,79% d'abondance relative) répartis en 8 familles ainsi que les Odonates avec 173 individus (soit 3,12% d'abondance relative) répartis en 2 familles. Les ordres les moins abondants sont ceux des Ephéméroptères, des Rynchobdellides, des Arhynchobdellides et des Mesogastropodes qui totalisent 1,5% d'abondance relative.

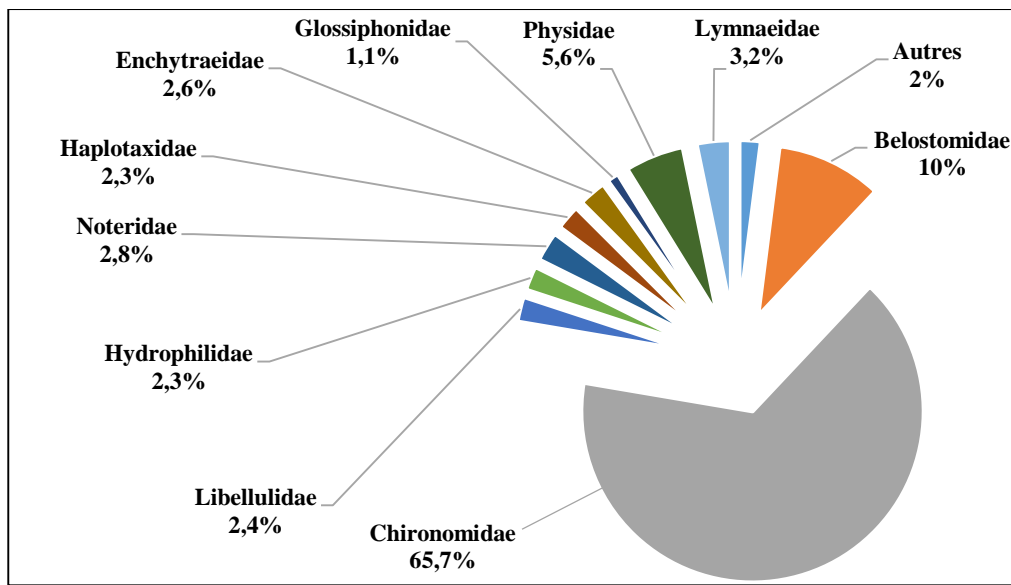


**Figure 46 :** Abondance des ordres de MIB dans le site d'Ahala pendant la période d'étude



**Figure 47 :** Abondance relative des familles par ordre dans le site d'Ahala pendant la période d'étude

Concernant les familles, celle des Chironomidae a dominé, représentant 65,7% d'abondance relative (Figure 48) suivie des Belostomatidae (10% d'abondance relative). Puis viennent les Physidae avec 5,6% d'abondance relative, les Lymnaeidae (3,2% d'abondance relative) et les Noteridae (2,8% d'abondance relative). Les familles les moins abondantes se recrutent entre les Coenagrionidae, les Nepidae et les Tubificidae qui totalisent 2% d'abondance relative.



**Figure 48 :** Abondance des familles de MIB dans le site d'Ahala pendant la période d'étude

- **Station Mfo 1**

Un total de 1621 organismes (soit 29,22% d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 9 ordres, 20 familles et 39 genres et/ espèces a été récolté à la station Mfo 1 (Tableau IV).

- **Station Mfo 2**

Un total de 1651 organismes (soit 29,76 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 11 ordres, 24 familles et 43 genres et/ espèces a été récolté à la station Mfo 2.

- **Station Mfo 3**

Un total de 861 organismes (soit 15, 52 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 11 ordres, 25 familles et 37 genres et/espèces a été récolté à la station Mfo 3.

- **Station Mfo 4**

Un total de 1414 organismes (soit 25, 49 % d'abondance relative) répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Annélides et Mollusques), 4 classes (Insectes, Oligochètes, Achètes et Gastéropodes), 9 ordres, 21 familles et 32 genres et/espèces a été récolté à la station Mfo 4.

**Tableau IV :** Liste des abondances des différents taxa récoltés dans le site d'Ahala pendant la période d'étude

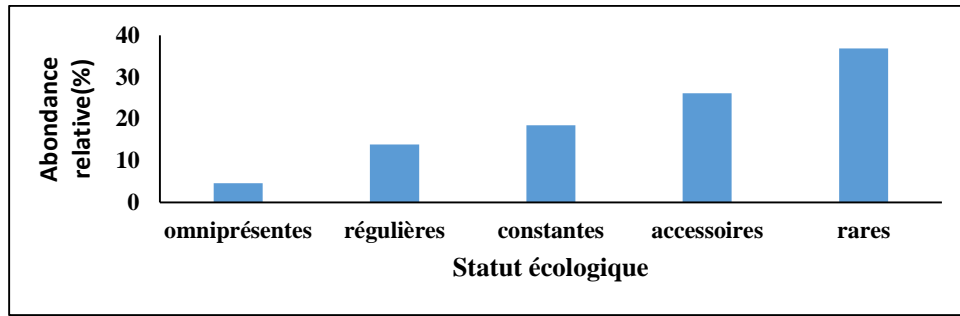
Classe	Ordre	Famille	Especes/tribu/sFa	Mfo 1	Mfo 2	Mfo 3	Mfo 4	
Insectes	Hétéropères	Nepidae	<i>Nepa</i> sp	2	9	3	2	
			<i>Laccotrephes</i> sp	3	7	1	5	
			<i>Ranatra</i> sp	3				
		Belostomatidae	<i>Lethocerus</i> sp	2	2			
			<i>Appasus</i> sp	106	272	46	94	
			<i>Nychia</i> sp				1	
		Vellidae	<i>Velia</i> sp			1		
			<i>Microveliasp</i>			1		
		Corixidae	<i>Artocoris</i> sp		1			
		Naucoridae	<i>Naucoris</i> sp		6		1	
		Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp	3	14			
		Diptères	Chironomidae	Chironomini nd	941	728	479	552
				<i>Chironomus</i> sp	159	54	32	399
				Orthocladinae nd	11	25	24	21
	Tanypodinae nd			1		6		
	Simulidae		Simulini nd			4		
	Syrphidae		nd			1		
	Cératopogonidae		nd	23	14	6	1	
	Scatophagidae		<i>Acanthocnema</i> sp	1				
	Culicidae		<i>Culex</i> sp		6			
	Chaoboridae		nd				1	
	Rhagionidae		nd				1	
	Tabanidae		nd			1		
	Odonates		Coenagrionidae	<i>Coenagrion pro parte</i>	6		39	1
		<i>Pyrrhosoma nymphula</i>			3			
		Libellulidae	<i>Libellula</i> sp	1				
	Coléoptères	Hydrophilidae	<i>Boreus</i> sp	6	2			
			<i>Hydrophilus</i> sp	11	5	1		
			<i>Hydrocara</i> sp	6	13			
			<i>Coelostoma</i> sp		1			
			<i>Chaetarthria</i> sp	14	1	2	4	
			<i>Amphibos</i> sp	18	34	2		
			<i>Laccophilus</i> sp		9	1		
		Dytiscidae	<i>Cybaster</i> sp	1				
			<i>Dytiscus</i> sp	2	1			
			<i>Hyphydrus</i> sp		3			
			<i>Hydrovatus</i> sp	1				
		Noteridae	<i>Noterus</i> sp	141	6			

		Elmidae	<i>Riolus</i> sp	1		4	1
		Haliplidae	<i>Haliplus</i> sp	1			
		Hygroblidae	<i>Hygrobia</i> sp		1		
		Scirtidae	<i>Hydrocyphon</i> sp			1	
			<i>Acilius</i> sp	1			
			<i>Cyphon</i> sp	1		1	
		Chrysomelidae	<i>Macrophea</i> sp				
Ephéméroptères	Baetidae	<i>Baetis</i> sp		4			
Trichoptères	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> sp				83	
oligochètes	Haplotaxides	Haplotaxidae	<i>Haplotaxis</i> sp	3		7	112
		Sparganophilidae	<i>Sparganophilus tamesis</i>		1	2	5
		Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp				2
	Lumbriculides	Lumbricidae	<i>Eiseniella tetraedra</i>			1	1
		Enchytraeidae	nd	2	1		133
		Lumbriculidae	<i>Stylodrilus heringianus</i>				16
Achètes	Arhynchobdellides	Erpobdellidae	<i>Hemiclepsis marginata</i>		6		2
		<i>Trocheta</i> sp		1			
	Ryncobdellides	Glossiphonidae	<i>Haementeria costata</i>		18	7	5
			<i>Glossiphonia</i> sp				4
Gastéropodes	Basommatophores	Physidae	<i>Batracobdella paludosa</i>	18	1	1	4
			<i>Physa</i> sp	71	76	4	12
		<i>Physa acuta</i>		123		5	
		Lymnaeidae	<i>Lymnaea natalensis</i>	10	90	6	8
			<i>Stagnicola</i> sp			1	
			<i>Radix</i> sp	1	42		1
			<i>Lymnaea peregra</i>		10		
		Planorbidae	<i>Bulinus umbilicatus</i>	1	10		
			<i>Bulinus octoplooidus</i>	1			
			<i>Planorbis</i> sp	1			
			<i>Biomphalaria pfeifferi</i>		4		
			<i>Biomphalaria rhodesiensis</i>		26		1
		Mésogastropodes	Melaniidae	<i>Bathyomphalus contortus</i>			
<i>Melanoides manguensis</i>				1	5		
<i>Melanoides pergracilis</i>				2	1		
<i>Melanoides vitoriae</i>					1		
Hydrobiidae	<i>Melanoides mweruensis</i>				1		
		<i>Potamopyrgus</i> sp	2				

### III.1.3.5. Fréquence d'occurrence des différentes familles de macroinvertébrés benthiques

#### III.1.3.5.1. Fréquence d'occurrence des différentes familles dans l'ensemble des sites

Le calcul des fréquences d'occurrence des familles de macroinvertébrés benthiques récoltées dans l'ensemble des sites (Figure 49) montre que les 'familles rares' sont les plus abondantes avec 36,9 % d'abondance relative, suivies des 'familles accessoires' (26,15%), 'constantes' (18,46%), 'régulières' (13,84%) et 'omniprésentes' (4,61 %).



**Figure 49** : Abondance relative des familles suivant la fréquence d'occurrence

- **Familles omniprésentes (03)** : Belostomatidae, Chironomidae et Hydrophilidae
- **Familles régulières (09)** : Nepidae, Ceratopogonidae, Coenagrionidae, Haplotaenidae, Sparganophilidae, Glossiphonidae, Physidae, Lymnaeidae et Melanidae.
- **Familles constantes (12)** : Simuliidae, Syrphidae, Libellulidae, Dytiscidae, Noteridae, Chrysomelidae, Baetidae, Tubificidae, Lumbricidae, Enchytraeidae, Lumbriculidae, Erpobdellidae
- **Familles accessoires (17)** : Vellidae, Corixidae, Naucoridae, Notonectidae, Athericidae, Scathophagidae, Psychodidae, Chaoboridae, Cordulegasteridae, Cordulidae, Elmidae, Haliplidae, Asellidae, Viviparidae, Bulinidae, Planorbidae et Hydrobiidae
- **Familles rares (24)** : Gerridae, Mesovellidae, Limonidae, Culicidae, Tipulidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Sciomyzidae, Spercheidae, Hydraenidae, Hydroscaphidae, Hydrochidae, Curculionidae, Scirtidae, Leptophlebidae, Ameletidae, Caenidae, Neritidae, Pilidae, Sphaeridae, Mutelidae, Hydropsychidae, Hygrobiidae

### III.1.3.5.2. Fréquence d'occurrence des différentes familles dans les différents sites d'étude

- **Dans le site d'Ezazou**

Dans le site de Ezazou (Figure 50), les 'familles rares' sont les plus fréquentes avec 78,95 % d'abondance relative, suivies des 'familles accessoires' (12,28 %). Puis viennent les 'familles constantes' et 'régulières' avec chacune 3,51% d'abondance relative suivies des 'familles omniprésentes' avec 1,75 % d'abondance relative (Tableau V).

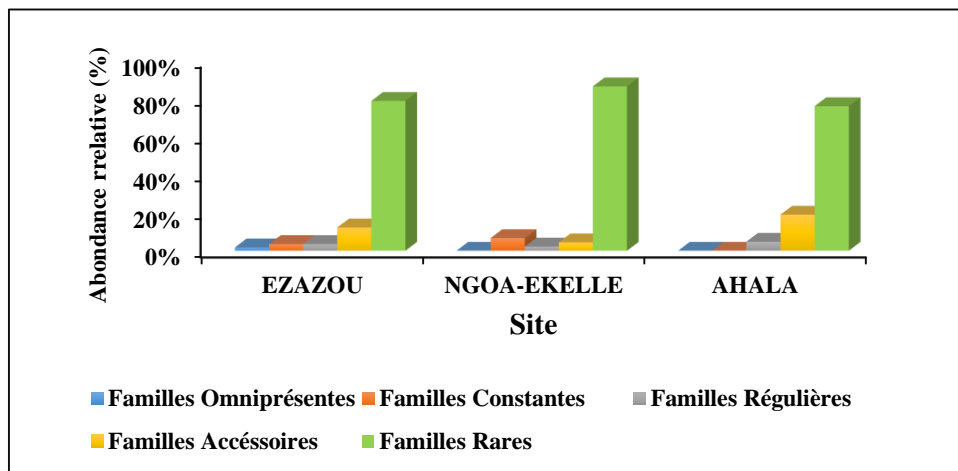
- **Dans le site de Ngoa-ékellé**

Dans le site de Ngoa-ékellé (Figure 50), les 'familles rares' sont de loin les plus dominantes (86,6 % d'abondance relative), suivies des 'familles constantes' (6,66%

d'abondance relative), des 'familles accessoires' (4,44 % d'abondance relative) et des 'familles régulières' (2,22 % d'abondance relative), les 'familles omniprésentes' étant absentes (Tableau V).

- **Dans le site d'Ahala**

Dans le site d'Ahala (Figure 50), les 'familles rares' sont également les plus dominantes (76,19 % d'abondance relative), suivies des 'familles accessoires' (19,05 % d'abondance relative) et des 'familles régulières' (4,76 % d'abondance relative). On note l'absence des 'familles constantes et omniprésentes' (Tableau V).



**Figure 50 :** Abondance relative des familles suivant la fréquence d'occurrence pendant la période d'étude

**Tableau V :** Repartition des familles suivant la fréquence d'occurrence

	<b>EZAZOU</b>	<b>NGOA-EKELLE</b>	<b>AHALA</b>
<b>Familles Omniprésentes</b>	Belostomatidae	RAS	RAS
<b>Familles Régulières</b>	Chironomidae Coenagrionidae	Chironomidae	Chironomidae Belostomatidae
<b>Familles Constantes</b>	Libellulidae Hydrophilidae	Belostomatidae, Hydrophilidae Physidae	RAS
<b>Familles Accessoires</b>	Nepidae, Simuliidae, Haplotaixidae, Glossiphonidae, Physidae, Melaniidae et Viviparidae	Nepidae Haplotaixidae	Nepidae, Lymnaeidae, Physidae, Glossiphonidae, Hydrophilidae, Libellulidae, Coenagrionidae et Nepidae

### Liste des familles rares :

- **Site d'Ezazou :** Gerridae, Athericidae, Culicidae, Dytiscidae, Leptophlebiidae, Hydrobiidae, Vellidae, Syrphidae, Chaoboridae, Noteridae, Ameletidae, Mutelidae, Corixidae, Ceratopogonidae, Tipulidae, Elmidae, Caenidae, Gyrinidae, Naucoridae, Limonidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Sparganophilidae, Hydroscaphidae, Notonectidae, Scatophagidae, Cordulegasteridae, Spercheidae, Erpobdellidae, Hydrochidae, Mesovelidae, Psychodidae, Corduliidae, Baetidae, Planorbidae, Curculionidae, Scirtidae, Chrysomelidae, Asellidae, Tubificidae, Lumbriculidae, Lymnaeidae, Bulinidae, Pilidae et Sphaeriidae.
- **Site de Ngoa-ékellé :** Corixidae, Notonectidae, Coenagrionidae, Hydroscaphidae, Tubificidae, Melaniidae, Naucoridae, Athericidae, Libellulidae, Scirtidae, Sphaeriidae, viviparidae, Simulidae, Syrphidae, Dytiscidae, Chrysomelidae, Lumbriculidae, Planorbidae, Cératopogonidae, Chaoboridae, Noteridae, Baetidae, Enchytraeidae, Neritidae, Scatophagidae, Tabanidae, Haliplidae, Leptophlebiidae, Lumbriculidae, Hydrobiidae, Psychodidae, Sciomyzidae, Hydraenidae, Ameletidae, Erpobdelliidae, Asellidae, Glossiphonidae, Sparganophilidae, Lymnaeidae.
- **Site d'Ahala:** Vellidae, Corixidae, Naucoridae, Notonectidae, Simulidae, Syrphidae, Dytiscidae, Scirtidae, Haplotaxidae, Ceratopogonidae, Scatophagidae, Culicidae, Chaoboridae, Tabanidae, Corduliidae, Noteridae, Chrysomelidae, Sparganophilidae, Elmidae, Haliplidae, Hydrobiidae, Melaniidae, Bulinidae, Tubificidae, Hygrobiidae, Planorbidae, Lumbriculidae, Hydropsychidae, Rhagionidae, Enchytraeidae, Lumbriculidae et Erpobdellidae.

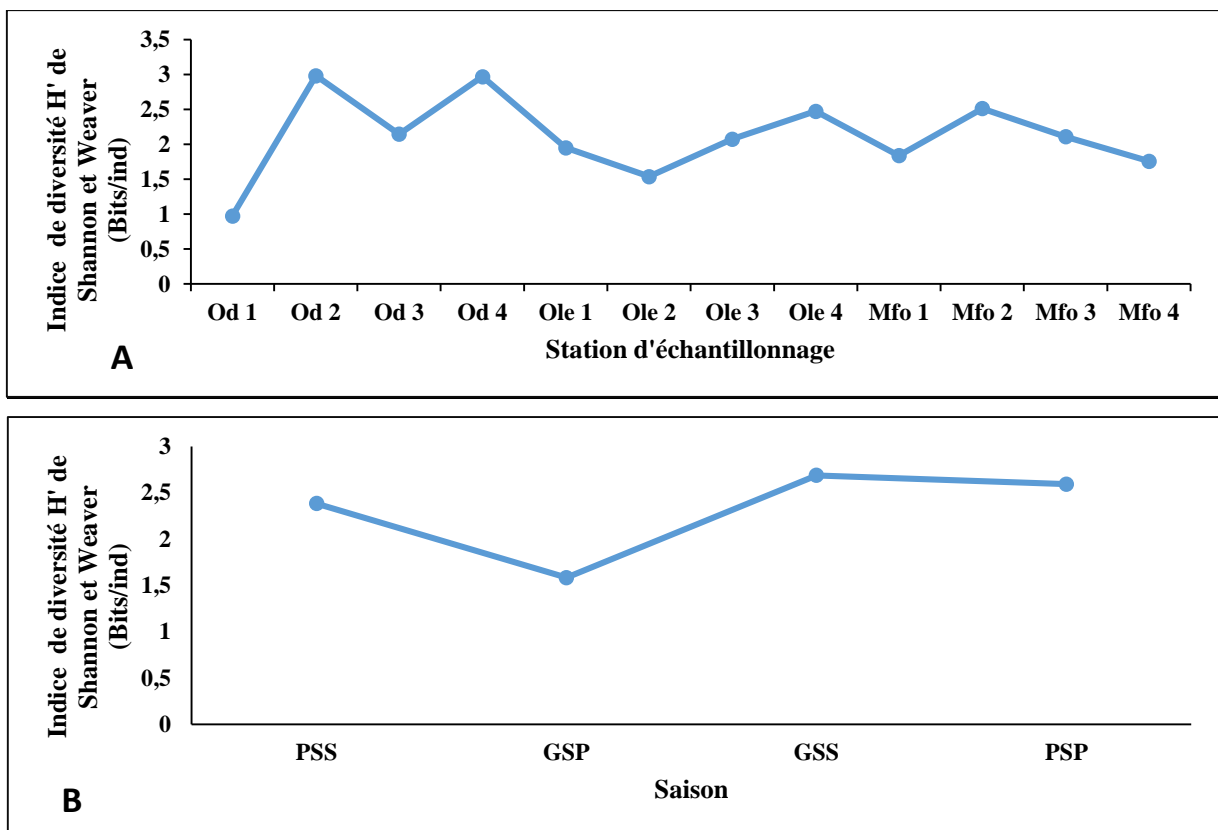
### III.1.4. Indices biocénotiques

#### III.1.4.1. Variations spatiale et saisonnière de l'indice de diversité H' de Shannon et Weaver

Sur le plan spatial (Figure 51A), l'indice de diversité H' de Shannon et Weaver a varié dans l'ensemble de 0,98 bits/ind (station Od 1) à 2,98 bits/ind (station Od 2). Dans le site d'Ezazou, la diversité évolue en dents de scie. En effet, la plus faible valeur a été enregistrée dans la station Od 1 (0,97 bits/ind) et la plus élevée dans la station Od 2 (2,98 bits/ind) autour d'une moyenne de  $2,27 \pm 0,95$  bits/ind. Dans le site de Ngoa-ékellé, la diversité décroît de Ole 1 (1,95 bits/ind) à Ole 2 (1,54 bits/ind), puis croît jusqu'à 2,47 bits/ind à la station Ole 4 autour

d'une moyenne de  $2,01 \pm 0,38$  bits/ind. Dans le site d'Ahala, la diversité croît entre Mfo 1 (1,84 bits/ind) et Mfo 2 (2,51 bits/ind), puis décroît jusqu'à Mfo 4 (1,76 bits/ind) autour d'une moyenne de  $2,06 \pm 0,34$  bits/ind. Dans l'ensemble, aucune différence significative n'a été observée d'une station et d'un site à l'autre ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan saisonnier (Figure 51B), la plus forte diversité a été enregistrée à la grande saison sèche (2,69 bits/ind) et la plus petite à la grande saison de pluies (1,58 bits/ind). En outre, les petites saisons (sèche et de pluies) ont présenté des diversités quasi-similaires (2,38 bits/ind et 2,59 bits/ind respectivement). Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).



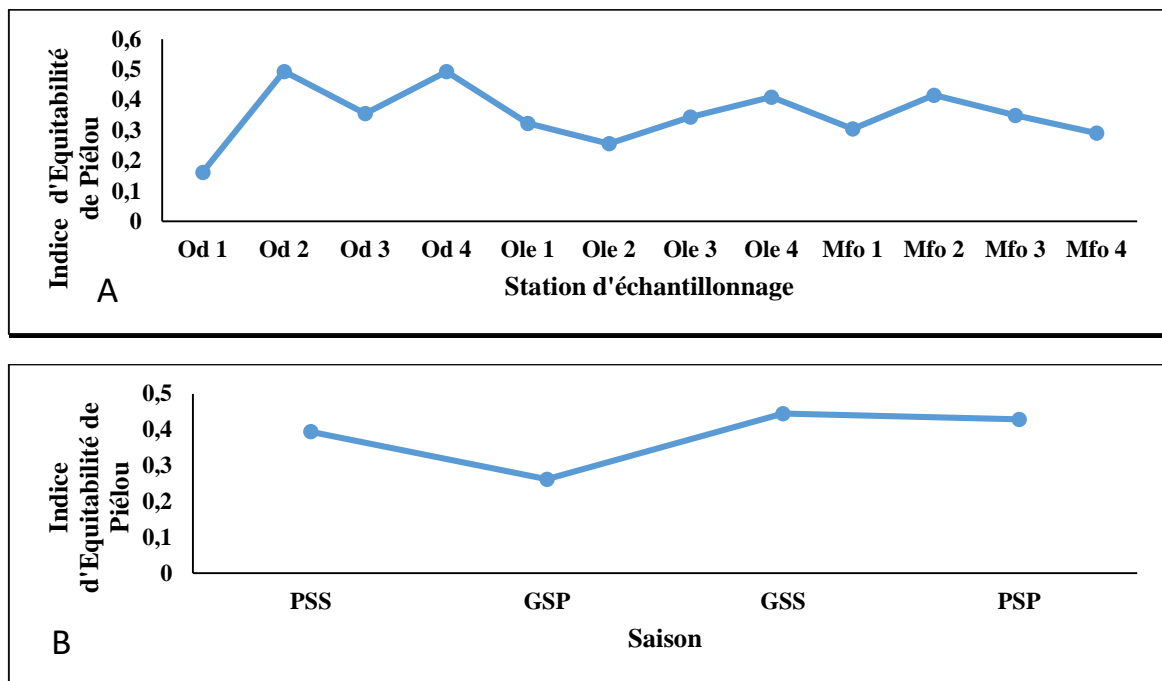
**Figure 51 :** Variation spatiale (A) et saisonnière (B) de l'indice de diversité de Shannon et Weaver pendant la période d'étude

### III.1.4.2. Variation spatiale et saisonnière de l'indice d'Equitabilité J de Piélou

Sur le plan spatial (Figure 52A), l'indice d'Equitabilité J de Piélou a présenté le même profil de variation que l'indice de diversité de Shannon et Weaver. Il a varié entre 0,16 (station Od 1) et 0,49 (stations Od 2 et Od 4). Le site d'Ezazou a présenté des valeurs légèrement plus

élevées ( $0,37 \pm 0,16$ ) par rapport au site de Ngoa-ékelle ( $0,33 \pm 0,06$ ) et au site d'Ahala ( $0,34 \pm 0,05$ ) bien qu'aucune différence significative n'ait été observée ( $p > 0,05$ ).

Sur le plan saisonnier (Figure 52B), la plus forte valeur de l'indice d'Equitabilité a été enregistrée à la grande saison sèche (0,44) et la plus petite à la grande saison de pluies (0,26) avec les petites saisons (sèche et de pluies) s'illustrant par des indices d'Equitabilité quasi-similaires (0,39 et 2,43 respectivement). Dans l'ensemble, on n'a noté aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p > 0,05$ ).



**Figure 52 :** Variation spatiale (A) et saisonnière (B) de l'indice de Piélou pendant la période d'étude

### III.1.4.3. Coefficient de similarité de Sorensen

Les degrés de ressemblance des peuplements de macroinvertébrés benthiques des stations d'étude prises deux à deux ont été évalués grâce au coefficient de similarité de Sorensen et illustré dans le Tableau VI. De l'analyse des résultats, il ressort que la plus grande similitude a été observée entre les stations Ole 3 et Ole 4 (75,56%) suivi des stations Ole 3 et Mfo 4 (73,17%). Les autres stations ont présenté des indices de similarité inférieurs à 70%. Dans l'ensemble, la majorité des similitudes les plus élevées s'enregistrent entre les stations d'un même site à l'instar de : Od 3 et Od 4 (68,75%), Mfo 3 et Mfo 4 (68,18%), Od 1 et Od 2 (67,61%), Mfo 1 et Mfo 2 (65,22%) et Mfo 2 et Mfo 4 (65,22%).

**Tableau VI :** Indice de similarité de Sorensen (%) entre les macroinvertébrés benthiques aux différentes stations d'échantillonnage pendant la période d'étude

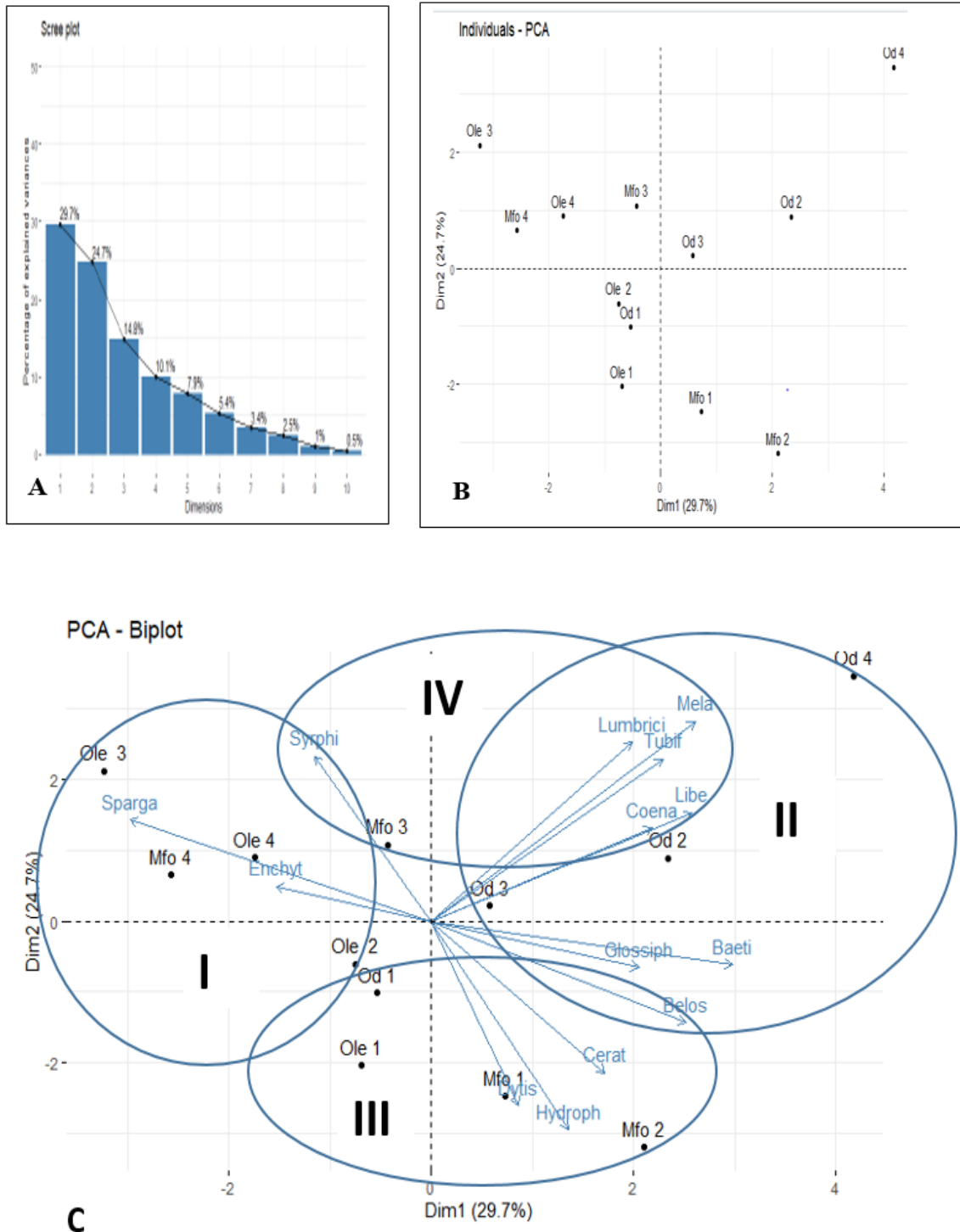
Stations	Od 1	Od 2	Od 3	Od 4	Ole 1	Ole 2	Ole 3	Ole 4	Mfo 1	Mfo 2	Mfo 3	Mfo 4
Od 1	100											
Od 2	<b>67,61</b>	100										
Od 3	<b>61,54</b>	<b>63,89</b>	100									
Od 4	<b>57,14</b>	<b>60,00</b>	<b>68,75</b>	100								
Ole 1	<b>54,17</b>	<b>50,91</b>	44,90	42,55	100							
Ole 2	<b>56,60</b>	<b>50,00</b>	<b>59,26</b>	<b>61,54</b>	<b>59,46</b>	100						
Ole 3	<b>57,69</b>	<b>50,85</b>	<b>60,38</b>	<b>62,75</b>	<b>55,56</b>	<b>53,66</b>	100					
Ole 4	45,61	<b>50,00</b>	<b>58,62</b>	<b>57,14</b>	39,02	43,48	<b>75,56</b>	100				
Mfo 1	49,06	<b>56,67</b>	<b>51,85</b>	<b>57,69</b>	48,65	<b>52,38</b>	<b>53,66</b>	<b>52,17</b>	100			
Mfo 2	<b>59,65</b>	<b>53,13</b>	<b>55,17</b>	<b>53,57</b>	<b>63,41</b>	<b>60,87</b>	<b>62,22</b>	<b>60,00</b>	<b>65,22</b>	100		
Mfo 3	<b>58,18</b>	<b>58,06</b>	<b>64,29</b>	<b>59,26</b>	46,15	<b>68,18</b>	<b>60,47</b>	<b>66,67</b>	<b>59,09</b>	<b>58,33</b>	100	
Mfo 4	<b>60,38</b>	<b>60,00</b>	<b>51,85</b>	<b>50,00</b>	<b>54,05</b>	<b>57,14</b>	<b>73,17</b>	<b>65,22</b>	<b>57,14</b>	<b>65,22</b>	<b>68,18</b>	100

Nb : les indices de similarité supérieurs ou égaux à 50% sont en **gras**

### III.1.5. Caractérisation biologique des différents hydrosystèmes

#### III.1.5.1. Analyse en Composantes Principales des peuplements de macroinvertébrés benthiques recensés aux différentes stations

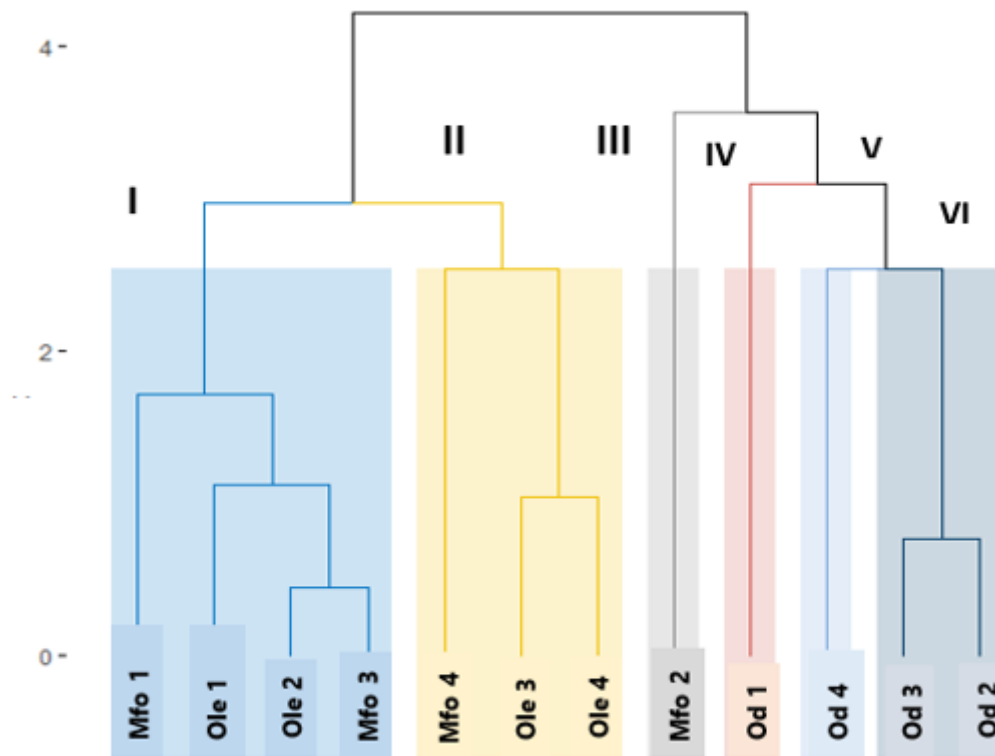
Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir des différentes familles ayant au moins 50 individus. Cette ACP a révélé que la dimension 1 (29,7%) et la dimension 2 (24,7%) cumulent 54,4 % de la variance totale et la carte obtenue permet de répartir les différentes familles en 4 groupes (Figure 53). Le groupe I est composé des familles des Sparganophilidae et des Enchytraeidae ainsi que les stations Ole 2, Ole 3, Ole 4 et Mfo 4. Quant au groupe II, il abrite les familles des Tubificidae, des Belostomatidae, des Coenagrionidae, des Baetidae, des Libellulidae et des Glossiphonidae ainsi que les stations Od 2, Od 3 et Od 4. Le groupe III comprend les familles des Ceratopogonidae, des Dytiscidae et des Hydrophilidae, et les stations Od 1, Ole 1, Mfo 1 et Mfo 2. Et enfin le groupe IV est constitué des familles des Syrphidae, des Melaniidae et des Lumbricidae ainsi que de la station Mfo 3.



**Figure 53 :** Analyse en Composantes Principales effectuée à partir les familles des macroinvertébrés benthiques : (A) : Histogramme des valeurs propres ; (B) : projection des observations et des dimensions 1 et 2. (C) : Biplot montrant la distribution des différentes familles dans les dimensions 1 et 2. Sparga = Sarganophilidae ; Enchy = Enchytraeidae ; Syrphi = Syrphidae ; Dytis = Dytiscidae ; Hydroph=Hydrophilidae ; Cerat = Ceratopogonidae ; Belos = Belostomatidae ; Glossiph = Glossiphonidae ; Baeti = Baetidae ; Coena = Coenagrionidae ; Libe = Libellulidae ; Lumbrici = Lumbricidae ; Tubif = Tubificidae ; Mela = Melanidae.

### III.1.5.2. Hiérarchisation des stations d'échantillonnage

Une analyse en classification hiérarchique (ACH) a été réalisée à partir des taxons obtenus afin de regrouper les stations d'échantillonnage en fonction de leur similarité taxonomique. C'est ainsi que 6 groupes ont été obtenus (Figure 54). Le groupe I est constitué de quatre stations (Mfo 1, Ole 1, Ole 2 et Mfo 3), le groupe II de trois stations (Mfo 4, Ole 3 et Ole 4), les groupes III, IV et V d'une seule station à savoir Mfo 2, Od 1 et Od 4 respectivement, puis le groupe VI constitué des stations Od 2 et Od 3.



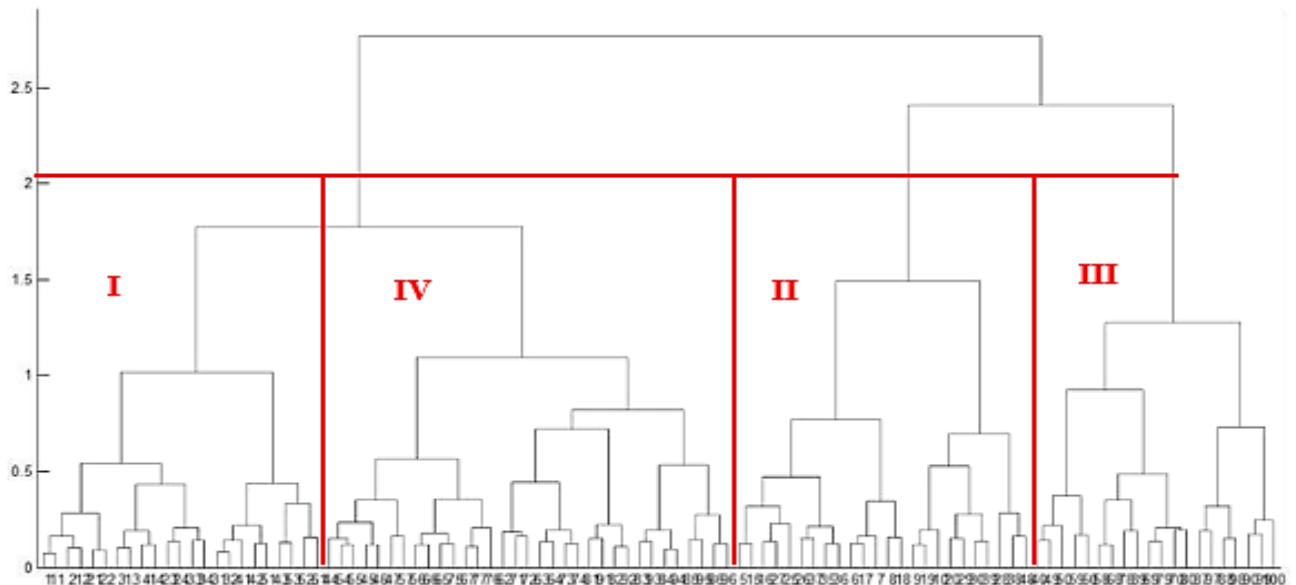
**Figure 54 :** Hiérarchisation des stations d'échantillonnage à partir des données faunistiques des macroinvertébrés benthiques obtenus pendant la période d'étude. NB : les chiffres romains I, II, III, IV, V et VI désignent les groupes constitués.

### III.1.5.3. Self-Organizing Map (SOM)

Une carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM: Self-Organizing Maps) a été réalisée (Figure 55) sur la base de la matrice d'abondance des espèces de macroinvertébrés benthiques au sein des 156 échantillons prélevés (12 stations x 13 sorties de terrain). Une carte de Kohonen de 100 cellules (10 lignes x 10 colonnes) a été retenue pour la projection des échantillons sur la

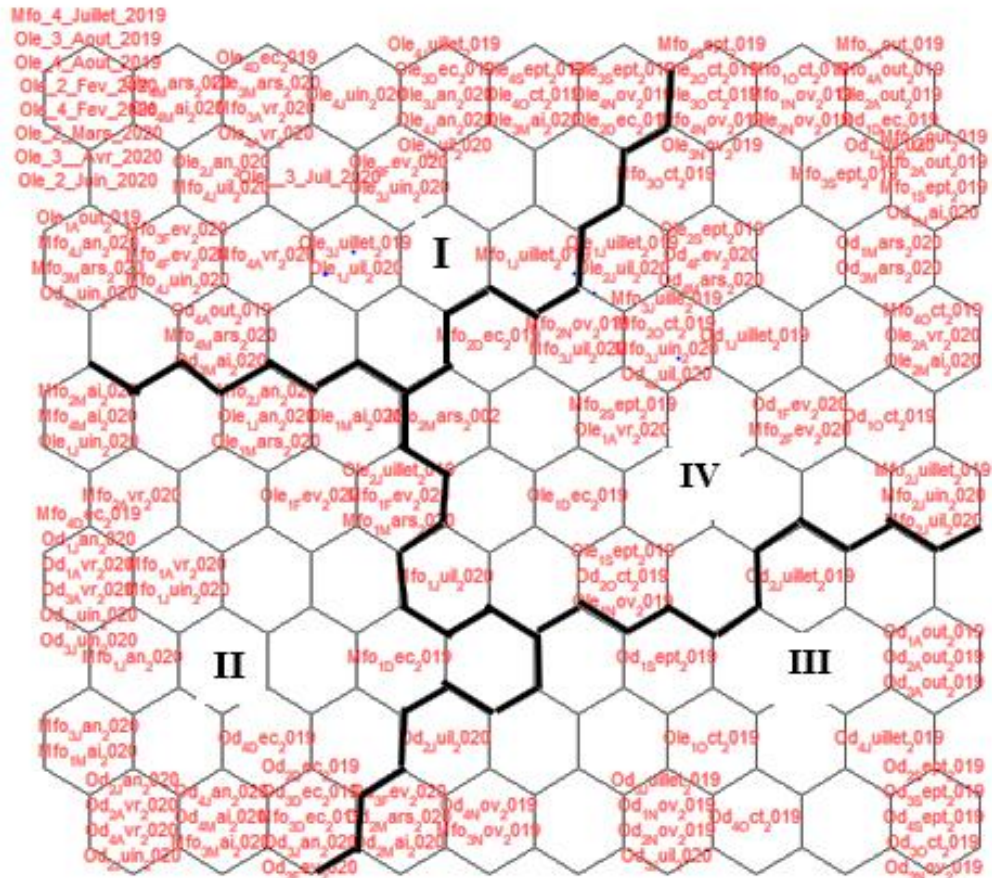
base des valeurs minimales avec une erreur de quantification de 0,928 et une erreur de topographie de 0,000.

Pour regrouper les cellules de la carte auto-organisatrice de Kohonen sur la base de leurs affinités taxonomiques et déterminer les limites entre les groupes formés, une classification hiérarchique a été réalisée. Elle répartit les cellules en quatre groupes (I à IV) à la distance euclidienne 1,7 selon la méthode de Ward (Figure 55).

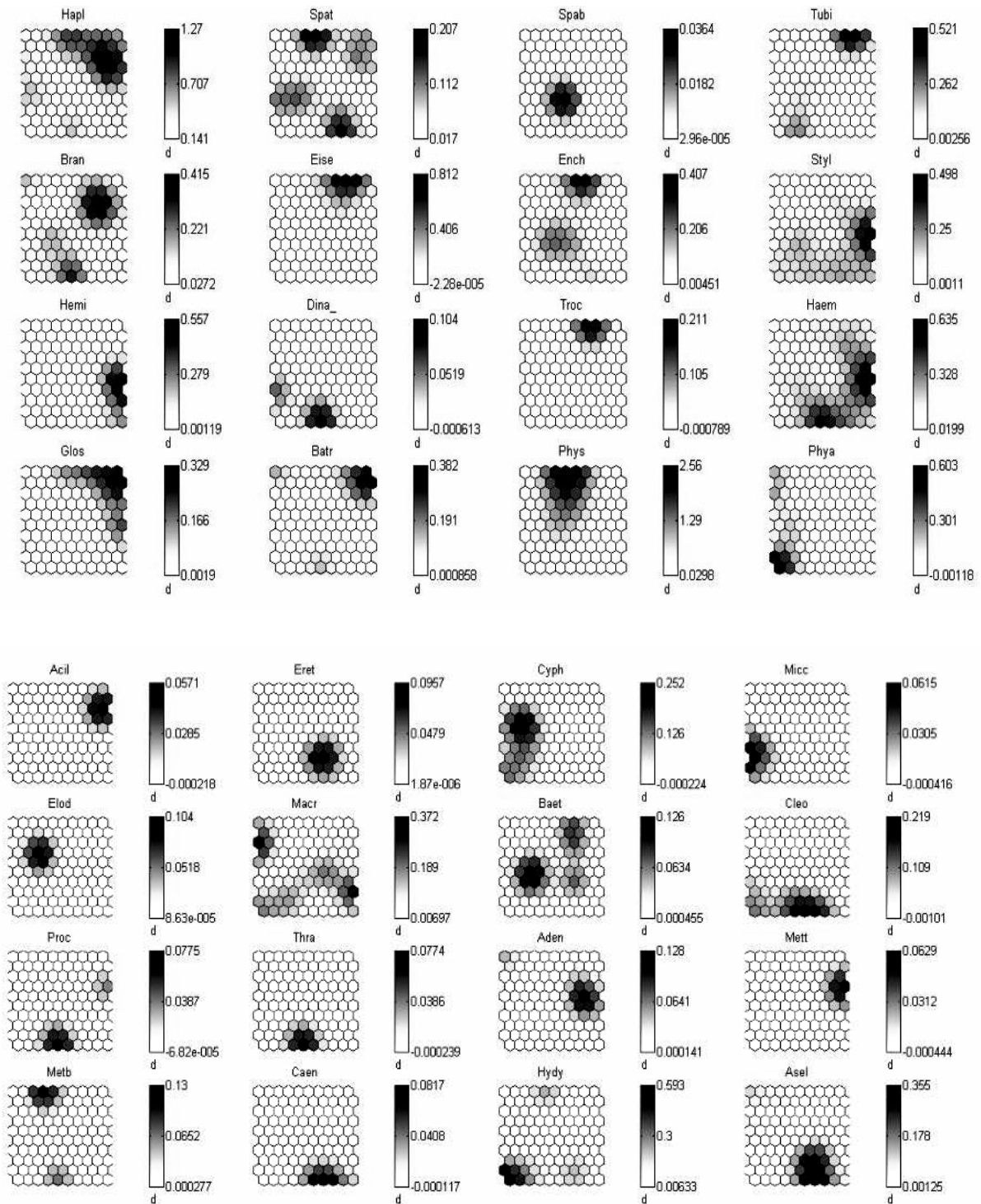


**Figure 55** : Classification hiérarchique des cellules de la SOM par la méthode de Ward ; I, II, III, IV= groupes identifiés ; les nombres 1 à 100 correspondent aux numéros de cellules de la carte SOM.

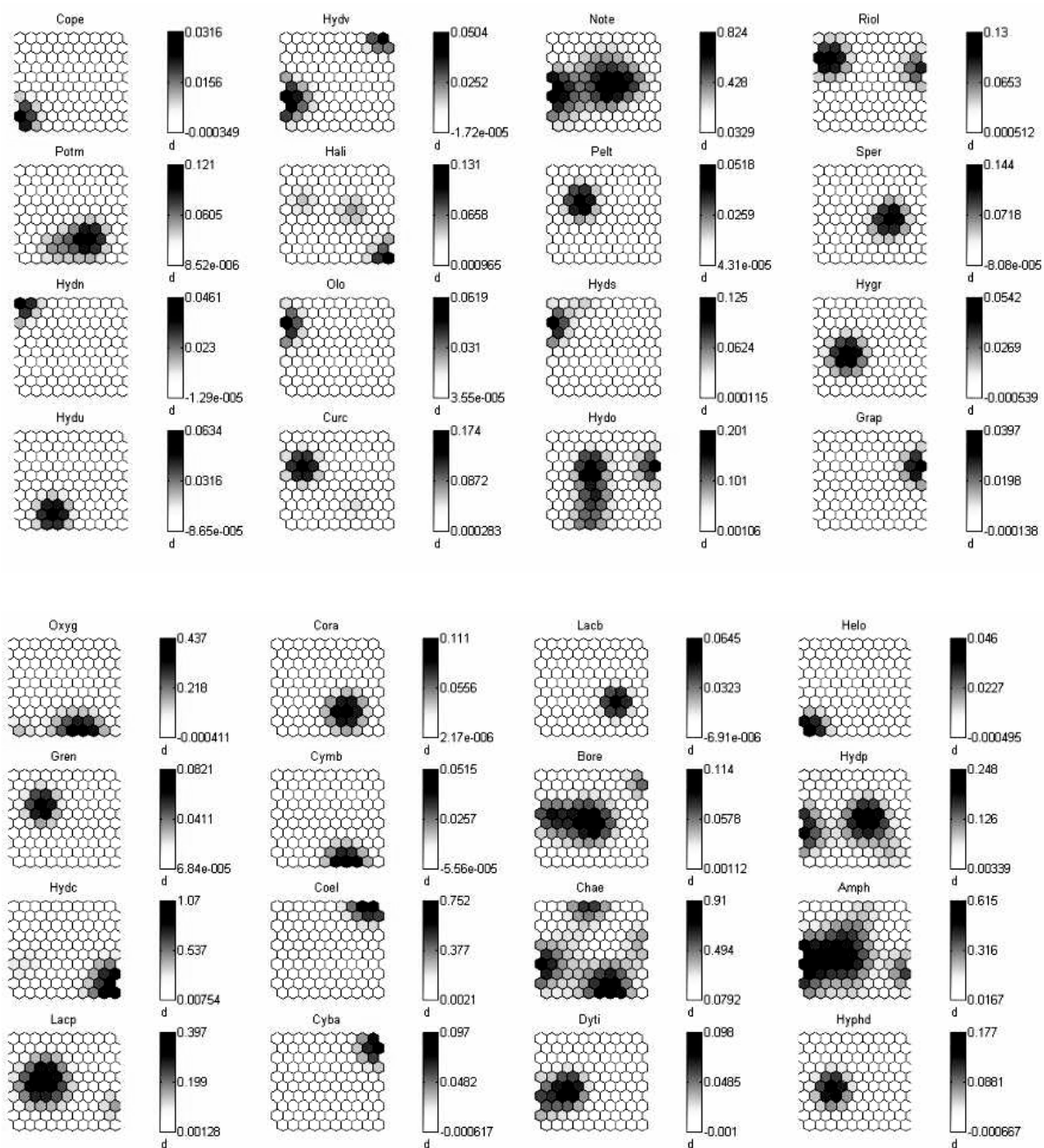
La carte de Kohonen (Figure 56) montre la distribution des 156 échantillons dans les différents groupes. Le groupe I est composé de 45 échantillons provenant essentiellement du site de Ngoa-ékellé. Le groupe II contient 37 échantillons issus d'un brassage de tous les sites. On a 16 échantillons provenant du site d'Ezazou, 14 du site d'Ahala et 7 du site de Ngoa-ékellé. Quant au groupe III, il est le plus petit de tous avec 24 échantillons appartenant essentiellement aux stations du site d'Ezazou. Concernant le groupe IV, il est le plus fourni avec 50 échantillons provenant de tous les sites répartis ainsi qu'il suit : 25 du site d'Ahala, 14 du site de Ngoa-ékellé et 11 du site d'Ezazou.



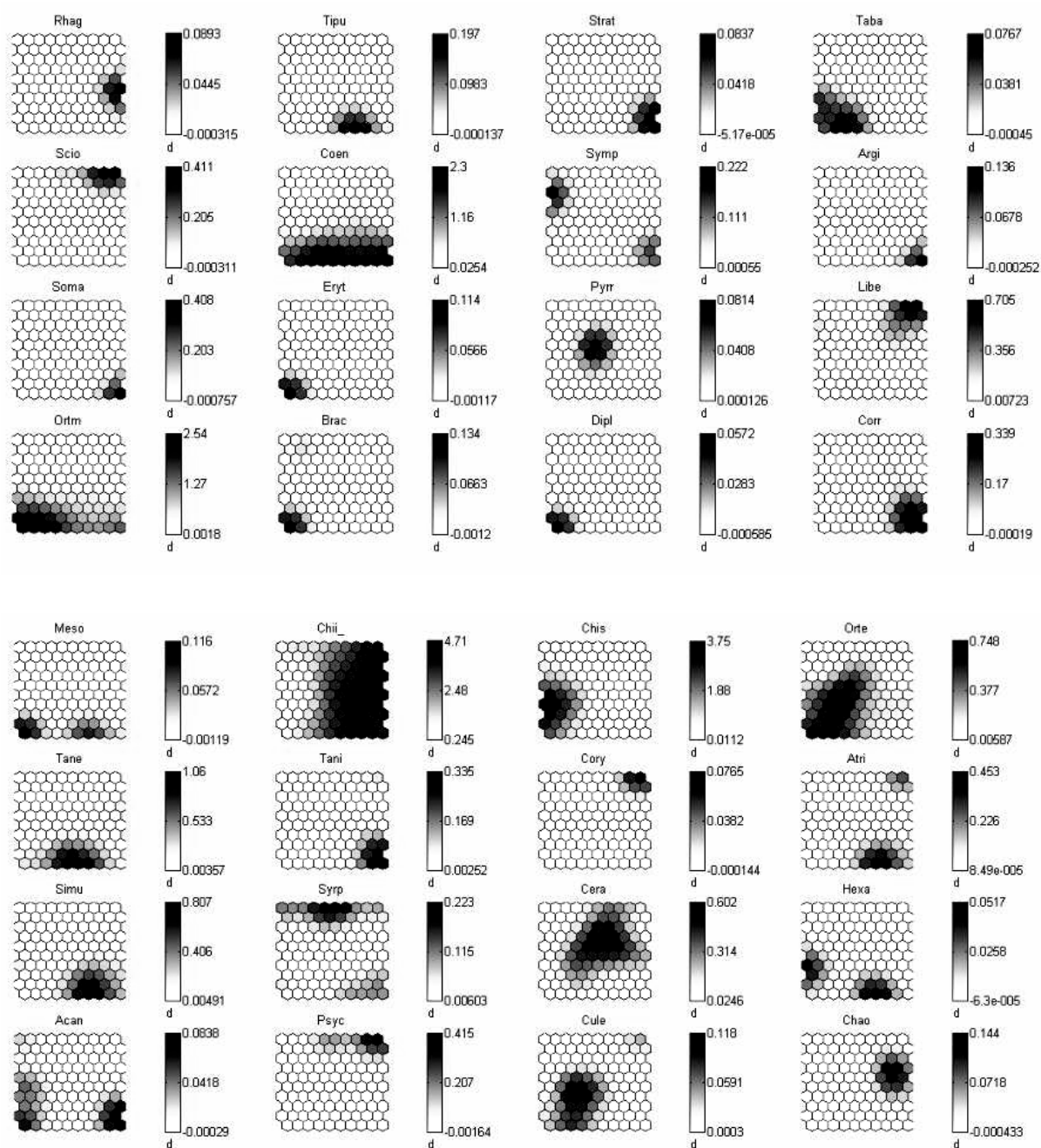
**Figure 56 :** Distribution des échantillons sur la carte SOM à partir de la matrice d’abondance des spécimens de macroinvertébrés benthiques. I à IV = groupes identifiés ; les lettres Juil, Aou, Sep, Oct ..... représentent les mois d’échantillonnage.



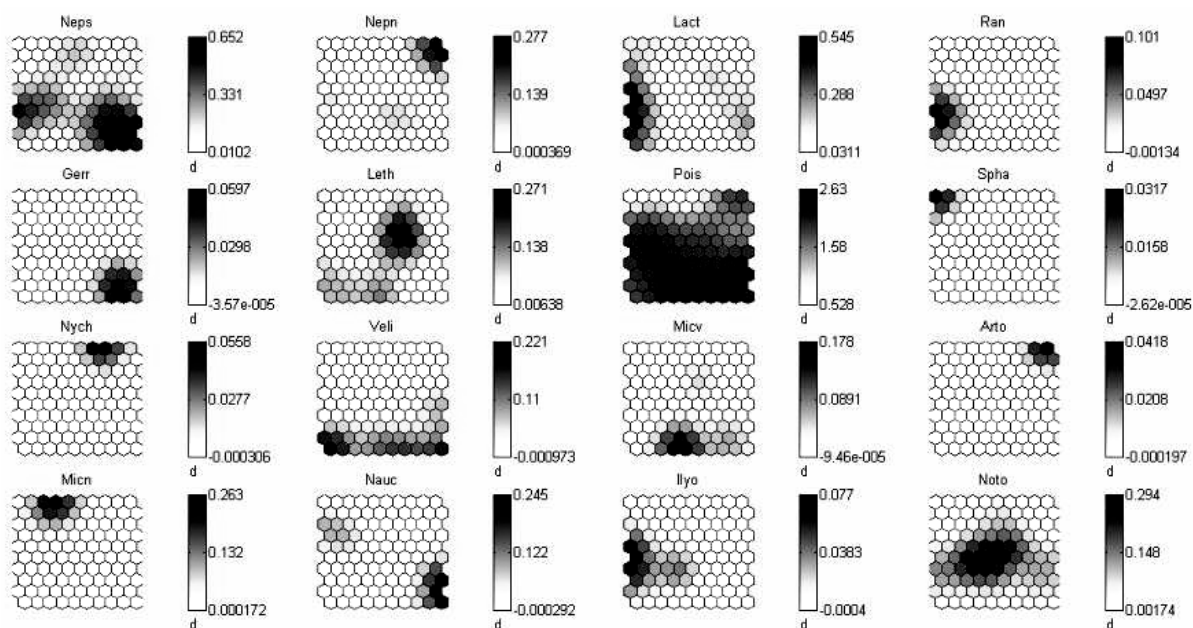
**Figure 57a :** Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle.



**Figure 57b** : Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle. (suite)

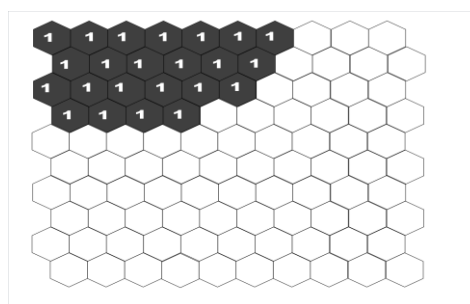


**Figure 57c :** Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle. (suite)



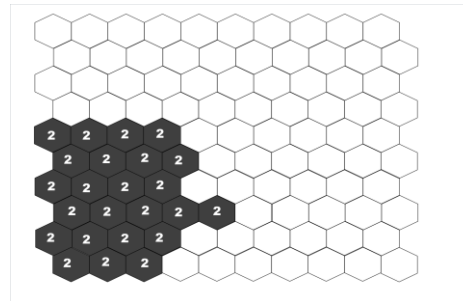
**Figure 57d :** Patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés récoltés sur la carte SOM, réalisés à partir de la matrice d'abondance : couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle. (suite et fin)

La synthèse des patrons de distribution révèle que le groupe II enregistre la plus forte richesse taxonomique avec 78 taxons, suivi du groupe III avec 76 taxons, du groupe IV avec 65 taxons et du groupe I avec 42 taxons.

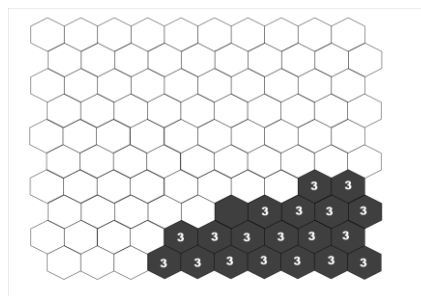


**Groupe I (36 taxons communs et 6 exclusifs) :** *Micronecta sp.*, *Sphaerium sp.*, *Syrphidae nd*, *Olonogyrus sp.*, *Hydraena sp.*, *Physa sp.*, *Sparganophilus tamesis*, *Eiseniella tetraedra*, *Batracobdella paludosa*, *Trocheta sp.*, *Enchytraeidae nd*, *Physa acuta*, *Metreletus balcanicus*, *Macropléa sp.*, *Cyphon sp.*, *Adenophlebiodes sp.*, *Hydropsyhe sp.*, *Aselius aquaticus*, *Haliphus sp.*, *Curculionidae nd*, *Noterus sp.*, *Peltodytes sp.*, *Hydrocyphon sp.*, *Riolus sp.*, *Grenitis sp.*, *Laccophilus sp.*, *Boresus sp.*, *Chaetarthria sp.*, *Hydrophilus sp.*, *Amphiobs sp.*, *Sciomyzidae nd*, *Brachytemis leucosticta*, *Sympetrum pro parte*, *Pyrrhosoma nymphula*,

*Acanthocnema* sp., Chironomini nd, Syrphidae nd, Psychodidae nd, Ceratopogonidae nd, Orthocnemeinae nd, *Nepa* sp., *Nychia* sp., *Naucoris* sp., *Laccotrephes* sp., *Appasus* sp., *Notonecta* sp., *Ilyocoris* sp.

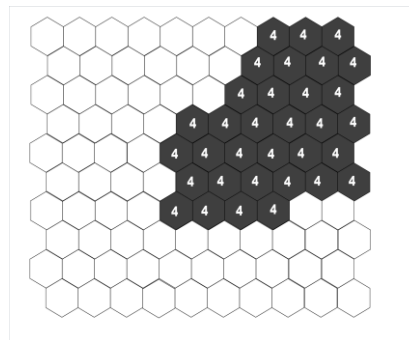


**GROUPE II (73 taxons communs et 5 exclusifs)** : *Helocares* sp., *Ranatra* sp., *Diplacoides lefebvrii*, *Copelatus* sp., *Erythroma viridis*, *Notonecta* sp., *Laccotrephes* sp., , *Appasus* sp., *Microvelia* sp., *Ilyocoris* sp., *Nepa nepa*, *Lethocerus* sp., *Velia* sp., *Naucoris* sp., *Nepa* sp., *Mesovelia* sp., Tanipodinae nd, Simulini nd, *Acanthocnema* sp., Chironomini nd, Orthocnemeinae nd, Ceratopogonidae nd, *Culex* sp., *Orthetrum* sp., *Chironomus* sp., *Coenagrion pro parte*, *Sympetrum pro parte*, *Pyrrhosoma nymphula*, Tabanidae nd, *Libellula* sp., *Hydrocara* sp., *Laccophilus* sp., *Boresus* sp., *Chaetarthria* sp., *Dytiscus* sp., *Grenitis* sp., *Oxygastra curtisii*, *Hyphydrus* sp., *Amphibios* sp., *Potamopyrgus* sp., *Hydrovatus* sp., *Olonogyrus* sp., Curculionidae nd, *Noterus* sp., *Peltodytes* sp., *Hydroscapha* sp., *Hydrocyphon* sp., *Hygrobia* sp., *Riolus* sp., *Elodes* sp., *Procleon pennutum*, *Hexatoma* sp., *Brachytemis leucostica*, *Hyphydrus* sp., *Macrolea* sp., *Thraulius bellus*, *Cyphon* sp., *Baetis* sp., *Hydropsyche* sp., *Microcara* sp., *Cleon* sp., *Haplotaxis* sp., *Branchiura sowerbyi*, *Sparganophilus tamesis*, *Dina lineata*, *Sparganophilus benham*, Enchytraeidae nd, *Physa* sp., *Tubifex* sp., *Stylodrilus heringianus*, *Haementeria costata*, *Physa acuta*.



**GROUPE III (70 taxons communs et 6 exclusifs)** : *Caenis* sp., *Cymbiodyta* sp., *Somatochlora pro parte*, *Stratiomyidae* nd, *Argia* sp., *Gerris* sp., *Haplotaxis* sp., *Branchiura sowerbyi*, *Hemiclepsis marginata*, *Sparganophilus tamesis*, *Sparganophilus benham*, *Dina*

*lineata*, *Batrachobdella paludosa*, Enchytraeidae nd, *Stylodrilus heringianus*, *Haementeria costata*, *Procléon pennutum*, *Metreletus balcanicus*, *Eretes* sp., *Macropléa* sp., *Baetis* sp., *Cléon* sp., *Aselius aquaticus*, *Potamophilus* sp., Curculionidae nd, *Thraulius bellus*, *Adenophlebiodes* sp., *Hydropsyche* sp., *Hydrochus* sp., *Haliphus* sp., *Noterus* sp., *Hydrocyphon* sp., *Sp.ercheus* sp., *Hydrocara* sp., *Laccophilus* sp., *cordulia aenae*, *Laccobius* sp., *Boresus* sp., *Chaetarthria* sp., *Hydrophilus* sp., *Amphiobs* sp., *Rhagionidae* nd, *Orthetrum* sp., Tipulidae nd, *Coenagrion pro parte*, *Sympetrum pro parte*, *Cordulegaster* sp., *Mesovelgia* sp., Tanypodinae nd, Simulini nd, *Acanthocnema* sp., Chironomini nd, Tanitarsini nd, Syrphidae nd, Ceratopogonidae nd, *Culex* sp., Orthociadinae nd, *Atrichops crassipes*, *Hexatoma* sp., Chaoboridae nd, *Nepa* sp., *Nepa nepa*, *Lethocerus* sp., *Velia* sp., *Naucoris* sp., *Laccotrephes* sp., *Appasus* sp., *Micronecta* sp., *Notonecta* sp..



**GROUPE IV (57 taxons communs et 8 taxons exclusifs) : *Acilius* sp., *Metreletus tenellus*, Sciomyzidae nd, *Artocorisa* sp., *Coelostoma* sp., *Cybaster* sp., *Coryoneura* sp., *Graphoderus* sp., *Branchiura sowerbi*, *Haliphus* sp., *Hemiclepsis marginata*, *Glossiphonia* sp., *Sp.arganophilus tamesis*, *Eiseniella tetraedra*, *Batrachobdella paludosa*, *Trocheta* sp., *Tubifex* sp., *Stylodrilus heringianus*, *Haementaria costata*, *Eretes* sp., *Baetis* sp., *Adenophlebiodes* sp., *Metreletus tenellus*, *Hydrovatus* sp., *Noterus* sp., *Hydrocyphon* sp., *Riolus* sp., *Sp.ercheus* sp., *Cordulia aenae*, *Boresus* sp., *Chaetarthria* sp., *Amphiobs* sp., *Hyphydrus* sp., *Rhagionidae* nd, *Coenagrion pro parte*, *Pyrrhosoma nymphula*, *Libellula* sp., Chironomini nd, Syrphidae nd, Psychodidae nd, Ceratopogonidae nd, *Culex* sp., Orthociadinae nd, *Atrichops crassipes*, Chaoboridae nd, *Nepa* sp., *Nychia* sp., *Nepa nepa*, *Lethocerus* sp., *Laccotrephes* sp., *Appasus* sp., *Notonecta* sp., *Microvelia* sp., *Velia* sp., *Eretes* sp., *Cordulegaster* sp., *Branchiura sowerbyi* et *Tanytarsini* sp.**

Ainsi donc, La carte SOM a permis de regrouper tous les taxons obtenus en 4 principaux groupes. Le groupe I, qui est constitué essentiellement des échantillons du site de Ngoa-ékellé et compte 42 taxons dont 6 lui sont propres (*Micronecta* sp, *Sphaerium* sp, Syrphidae nd,

*Olonogyrus* sp, *Hydraena* sp et *Physa* sp). Le groupe II résulte d'un assemblage d'échantillons issus de tous les sites et totalise 78 taxons dont 5 lui sont propres (*Helocares* sp, *Ranatra* sp, *Diplacoides lefebvieri*, *Copelatus* sp et *Erythroma viridis*). Quant au groupe III, il est constitué essentiellement des échantillons du site d'Ezazou et regroupe 76 taxons dont 6 lui sont propres (*Caenis* sp, *Cymbiodyta* sp, *Somatochlora pro parte*, Stratiomyidae nd, *Argia* sp et *Gerris* sp). Le groupe IV se compose d'échantillons provenant de tous les sites et compte 65 taxons dont 8 lui sont propres (*Acilius* sp, *Metreletus tenellus*, Sciomyzidae nd, *Artocorisa* sp, *Coelostoma* sp, *Cybaster* sp, *Coryoneura* sp et *Graphoderus* sp).

#### **III.1.5.4. Identification des taxons bioindicateurs par la méthode Individual Value (IndVal)**

La méthode Ind Val appliquée aux organismes biologiques sur la base des groupes issus de l'analyse SOM révèle que sur les 145 taxons pris en compte, 31 sont indicateurs significatifs parmi lesquels 20 sont indicateurs d'un groupe (GI, GII et GIII), 9 sont indicateurs des combinaisons de deux groupes (GII + GIII, GII+GIV, GIII + GIV) et 2 indicateurs des combinaisons de trois groupes (GII+GIII+GIV).

Au niveau du groupe GI (Tableau VII), un seul taxon indicateur a été identifié, le Basommatophore *Physa* sp avec une Individual Value de 65% (associée à une spécificité de 79,3% et une fidélité de 53,3%).

Au niveau du groupe GII, 5 taxons dont la valeur IndVal varie entre 79,1% et 34,9% ont été définis comme étant des bioindicateurs significatifs. Il s'agit du Diptère *Chironomus* sp (IndVal = 79,1% ; A= 96,4% et B= 64,9%), des Coléoptères *Noterus* sp (IndVal = 51,0% ; A= 87,6% et B= 29,7%) et *Cyphon* sp (IndVal = 36,8% ; A= 100% et B= 13,5%) et des Mesogastropoda *Bellamyia capillata* (IndVal = 35,5% ; A= 93,5% et B= 13,5%) et *Melanoides manguensis* (IndVal = 34,9% ; A= 64,2% et B= 18,9%).

Au niveau du groupe GIII, c'est un total de 14 taxons dont la valeur IndVal varie entre 58,3% et 28,4% qui ont été définis comme étant des bioindicateurs significatifs. Il s'agit de :

- 5 taxons appartenant à l'ordre des Diptères (Tanypodinae nd, Simulini nd, *Atrichops crassipes*, Tipulidae nd et Tanytarsini nd) ;
- 3 taxons appartenant à l'ordre des Odonates (*Libellula* sp, *Oxygastra curtisii* et *Cordulegaster* sp) ;

- 2 taxons appartenant à l'ordre des Basommatophores (*Galba truncatula* et *Gyraulus* sp) ;
- 2 taxons appartenant à l'ordre des Mesogastropoda (*Melanoides vitoriae* et *Lithoglyphus naticoides*) ;
- 1 taxon appartenant à l'ordre des Hétéroptères (*Nepa nepa*) ;
- et 1 taxon appartenant à l'ordre des Coléoptères (*Potamophilus* sp).

Concernant la combinaison des groupes (Tableau VIII), on distingue :

- Le groupe GII+GIII ayant 5 taxons indicateurs avec une IndVal variant entre 78,2% et 33,3%. Ces taxons sont constitués de 2 appartenant à l'ordre des Odonates (*Coenagrion pro parte* et *Orthetrum* sp), 1 à l'ordre des Coléoptères (*Chaetarthria* sp), 1 à l'ordre des Basommatophores (*Aplexa hypnorum*) et 1 à l'ordre des Mesogastropoda (*Viviparus* sp) ;
- le groupe GII+GIV possédant 1 seul taxon bioindicateur, le Coléoptère *Amphiobs* sp avec une IndVal de 50,9% ;
- le groupe GIII+GIV ayant 3 taxons bioindicateurs dont 1 de l'ordre des Diptères (Chironomini nd), 1 de l'ordre des Rynchobdellida (*Haementeria costata*) et 1 de l'ordre des Hétéroptères (*Mesovelina* sp) ;
- le groupe GII+GIII+GIV possédant 2 taxons bioindicateurs dont 1 appartenant à l'ordre des Hétéroptères (*Appasus* sp) et l'autre à l'ordre des Diptères (Orthocladinae nd).

**Tableau VII:** Valeur indicatrice (IndVal) des taxons par groupe

<b>GROUPE G I (1 espèce)</b>					
<b>Taxon</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>sig</b>
<i>Physa</i> sp	0,793	0,533	0,65	0,001	***

<b>GROUPE G II (5 espèces)</b>					
<b>Taxon</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
<i>Chironomus</i> sp	0,964	0,649	0,791	0,001	***
<i>Noterus</i> sp	0,876	0,297	0,510	0,001	***
<i>Cyphon</i> sp	1,000	0,135	0,368	0,003	**
<i>Bellamya capillata</i>	0,935	0,135	0,355	0,010	**
<i>Melanoides manguensis</i>	0,642	0,189	0,349	0,032	*

<b>GROUPE G III (14 espèces)</b>					
<b>Taxons</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
Tanypodinae nd	0,819	0,417	0,583	0,001	***
Simulini nd	0,816	0,417	0,583	0,001	***
<i>Atrichops crassipes</i>	0,923	0,208	0,439	0,001	***
<i>Galba truncatula</i>	1,000	0,167	0,408	0,001	***
<i>Libellula</i> sp	0,735	0,167	0,350	0,021	*
<i>Melanoides victoriae</i>	0,721	0,167	0,347	0,005	**
<i>Lithoglyphus naticoides</i>	0,807	0,125	0,318	0,015	*
<i>Oxygastra curtisii</i>	0,796	0,125	0,315	0,027	*
<i>Cordulegaster</i> sp	0,7496	0,125	0,306	0,028	*
<i>Nepa nepa</i>	0,7266	0,125	0,301	0,033	*
Tipulidae nd	1,000	0,0833	0,289	0,017	*
<i>Potamophilus</i> sp	1,000	0,0833	0,289	0,032	*
<i>Gyraulus</i> sp	1,000	0,08	0,289	0,025	*
Tanytarsini nd	0,9656	0,0833	0,284	0,042	*

A = spécificité ; B= Fidélité ; Sig= Significativité.

**Tableau VIII** : Valeur indicatrice (IndVal) des taxons par combinaison de groupes

<b>GROUPES G II + G III (5 espèces)</b>					
<b>Taxons</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
<i>Coenagrion pro parte</i>	0,9564	0,6393	0,782	0,001	***
<i>Orthetrum</i> sp	0,9776	0,6066	0,770	0,001	***
<i>Chaertarthria</i> sp	0,7341	0,3934	0,537	0,03	*
<i>Aplexa hypnorum</i>	0,9867	0,1803	0,422	0,009	**
<i>Viviparus</i> sp	0,9671	0,1148	0,333	0,039	*

<b>GROUPES G II + G IV ( 1 espèce)</b>					
<b>Taxon</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
<i>Amphiobs</i> sp	0,9029	0,2874	0,509	0,001	***

<b>GROUPES G III + G IV</b>					
<b>Taxon</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
Chironomini nd	0,911	0,892	0,901	0,001	***
<i>Haementeria costata</i>	0,797	0,284	0,476	0,041	*
<i>Mesovelgia</i> sp	0,994	0,122	0,348	0,037	*

<b>GROUPES GII + G III + G IV</b>					
<b>Taxon</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>Sig</b>
<i>Appasus</i> sp	0,909	0,946	0,927	0,001	***
Orthocidinae nd	0,980	0,234	0,479	0,004	**

A = spécificité ; B= Fidélité ; Sig= Significativité.

### III.1.5.5. Macroinvertébrés benthiques et facteurs abiotiques

Le test de corrélation  $r$  de Spearman a permis de déterminer l'influence de quelques paramètres abiotiques sur la faune récoltée. D'après le tableau de corrélation (Annexe 3), 08 principales familles ont été corrélées aux paramètres abiotiques. En effet, les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité et l'alcalinité ont présenté des corrélations significatives et négatives avec plusieurs familles telles la famille des Belostomatidae ( $r_1 = -0,0786^*$ ,  $r_2 = -0,0786^*$ ,  $r_3 = -0,0810^*$ ,  $r_4 = -0,0714^*$ ), des Coenagrionidae ( $r_1 = -0,0898^{**}$ ,  $r_2 = -0,0838^{**}$ ,  $r_3 = -0,0898^{**}$ ,  $r_4 = -0,898^{**}$ ) et des Libellulidae ( $r_1 = -0,0830^*$ ,  $r_2 = -0,0781^*$ ,  $r_3 = -0,0830^*$ ,  $r_4 = -0,0903^*$ ). Quant à l'oxygène dissous, il a été positivement corrélé aux Coenagrionidae ( $r = 0,0874^{**}$ ) et aux Libellulidae ( $r = 0,0903^{**}$ ). L'oxydabilité a été positivement corrélée aux Physidae ( $r = 0,0857^*$ ) et négativement aux Belostomatidae ( $r = -0,738^*$ ), aux Chironomidae ( $r = -0,0762^*$ ), aux Coenagrionidae ( $r = -0,0731^*$ ) et aux Hydrophilidae ( $r = -0,0723^*$ ). Pour la couleur, elle a influencé négativement les familles des Chironomidae ( $r = -0,0714^*$ ) et des Coenagrionidae ( $r_1 = -0,0802^*$ ). Le gaz carbonique dissous quant à lui s'est avéré avoir une influence négative sur les familles des Coenagrionidae ( $r = -0,0766^*$ ) et des Libellulidae ( $r = -0,0854^*$ ) de même que les matières en suspension sur les Coenagrionidae ( $r = -0,0731^*$ ). Pour les nitrites, ils se sont avérés positivement corrélés aux Libellulidae ( $r = 0,0708^*$ ) et aux Sphaeridae ( $r = 0,0733^*$ ) tout comme la turbidité aux Tubificidae ( $r_1 = -0,0749^*$ ).

### III.1.5.6. Groupes trophiques

L'analyse des régimes alimentaires de l'ensemble des organismes récoltés (Figure 58A) révèle que, concernant la prééminence numérique, les filtreurs prédominent dans tous les sites.

A Ezazou, les filtreurs (essentiellement composés des Chironomidae) dominent avec 71,67% d'abondance relative, suivis des prédateurs (Belostomatidae, Coenagrionidae et Libellulidae) avec 18,17% d'abondance relative et des détritivores (Haplotaxidae, Tubificidae et Hydrophilidae) avec 10,16% d'abondance relative.

A Ngoa-ékellé, les filtreurs (Chironomidae) dominent avec 52,09% d'abondance relative, suivis des détritivores (Physidae, Lymnaeidae et Haplotaxidae) représentant 38,85% d'abondance relative et des prédateurs (Belostomatidae) avec 9,06% d'abondance relative.

Au niveau du site d'Ahala, les filtreurs (Chironomidae) dominent également avec 63,6% d'abondance relative, suivis des détritivores (Physidae, Lymnaeidae et Noteridae) représentant

20,38% d'abondance relative et des prédateurs (Belostomatidae) avec 16,02% d'abondance relative.

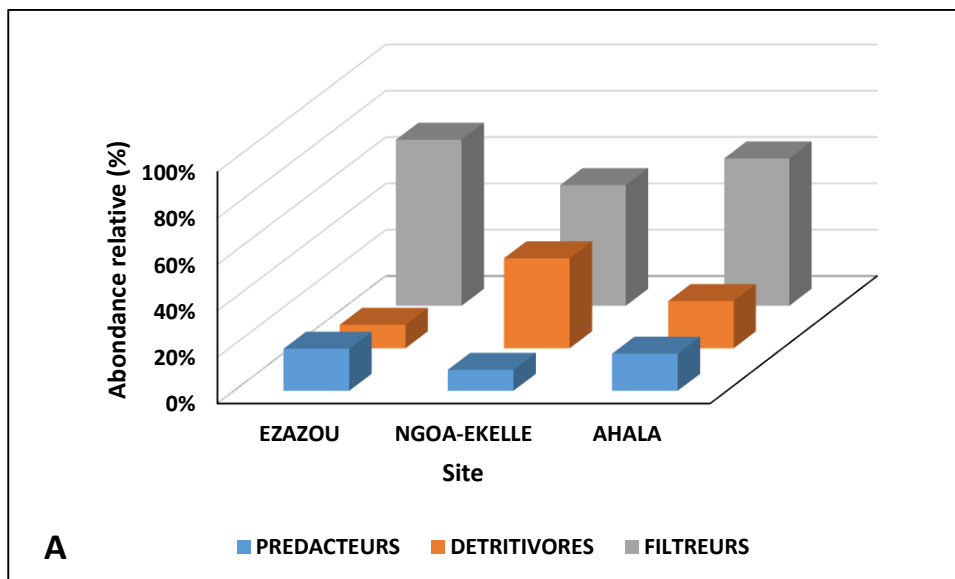
Il apparaît donc ici que le site d'Ezazou présente moins de détritivores et plus de filtreurs et de prédateurs pendant que Ngoa-ékellé compte moins de prédateurs et plus de détritivores.

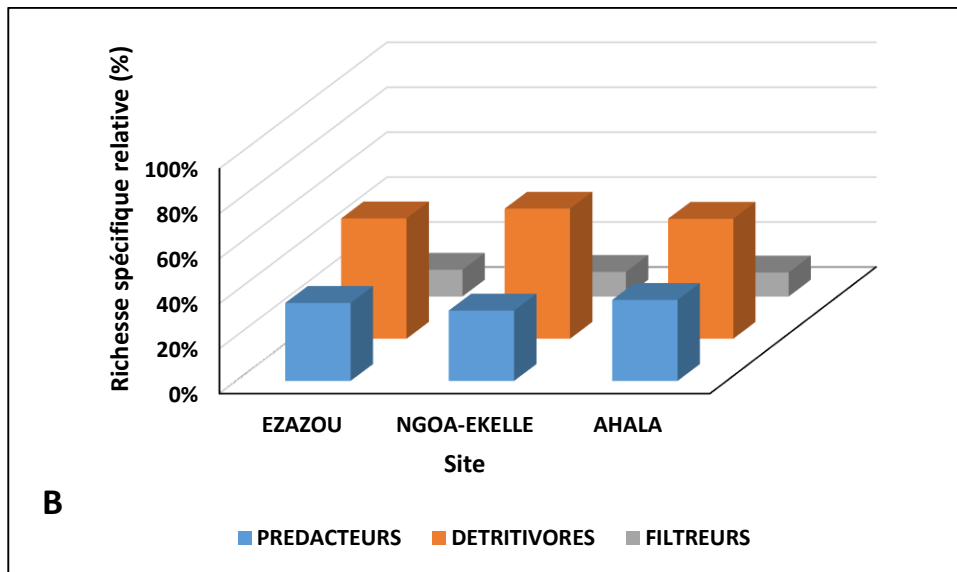
Pour la richesse spécifique (Figure 58B), quel que soit le site, les détritivores sont plus représentés que les filtreurs.

A Ezazou, les détritivores (*Haplotaxais* sp, *Brachiura sowerbi* et *Chaetarthria* sp) dominant avec 53,47% de richesse spécifique relative, suivis des prédateurs (*Appasus* sp, *Coenagrion pro parte* et *Orthetrum* sp) avec 34,65% de richesse spécifique relative et enfin les filtreurs (tribu des Chironomini et *Chironomus* sp) avec 11,88% de richesse spécifique relative.

Concernant le site de Ngoa-ékellé, les détritivores (*Physa* sp, *Lymnaea natalenis* et *Haplotaxais* sp) dominant avec 57,81% de richesse spécifique relative, suivis des prédateurs (*Appasus* sp) avec 31,25% de richesse spécifique relative et des filtreurs (tribu des Chironomini) avec 10,94% de richesse spécifique relative.

Pour ce qui est du site d'Ahala, les détritivores (*Physa* sp, *Physa acuta*, *Lymnaea natalenis* et *Noterus* sp) dominant avec 53,33% de richesse spécifique relative, suivis des prédateurs (*Appasus* sp et *Orthetrum* sp) avec 36% de richesse spécifique relative et des filtreurs (tribu des Chironomini) avec 10,67% de richesse spécifique relative.





**Figure 58:** Variation des abondances (A) et richesse spécifique relative (B) des différents groupes trophiques.

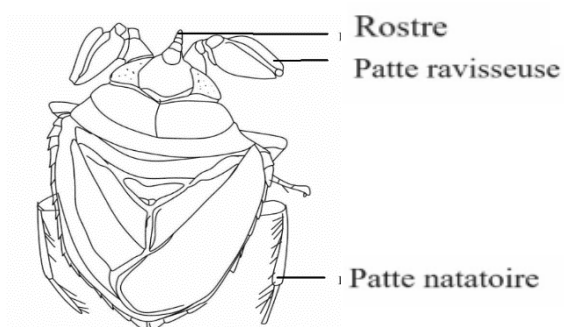
### III.1.6. Description des taxons prédominants

En se basant sur les fréquences d'occurrence des organismes, nous présentons les caractères morphologiques des spécimens appartenant aux familles Omniprésentes (Belostomatidae, Chironomidae et Hydrophilidae) et à certaines familles Régulières (Nepidae, Coenagrionidae, Ceratopogonidae, Physidae et Melaniidae).

#### III.1.6.1. Belostomatidae

Dans la famille des Belostomatidae, l'espèce la plus abondante est *Appasus* sp., qui représente 98,93% d'abondance relative.

- *Appasus* sp (Amyot et Serville, 1843)



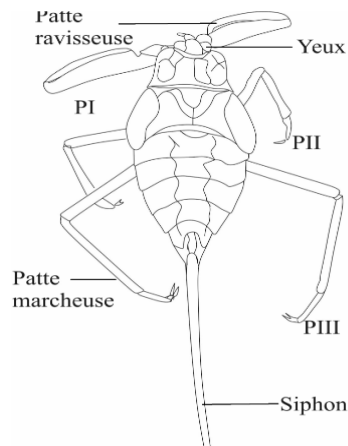
**Figure 59 :** *Appasus* sp.

*Appasus* sp (Figure 59) est un organisme de la classe des Insectes et de l'ordre des Hétéroptères. Il est caractérisé par un corps ovalaire un peu aplati dorso-ventralement. La tête est en forme de cône et porte des antennes à 4 articles ainsi qu'un rostre très robuste de 4 articles également. Les ocelles sont absents. Le thorax possède un pronotum plus large que long avec les pattes antérieures ravisseuses et les pattes postérieures natatoires. Le siphon respiratoire est court et rétractile. *Appasus* sp est un bon nageur et ses œufs sont fixés sur un support ou sur le dos du mâle. Nos spécimens avaient des tailles variant de 0,6 à 2,1 cm de longueur (et 1 à 1,8 cm de largeur) ce qui est un peu différent des mensurations décrites par Amyot & Serville, 1843 qui sont de 1,3 à 1,6 cm de longueur.

### III.1.6.2. Nepidae

Dans la famille des Nepidae, l'espèce prédominante est *Nepa* sp avec 64,06% d'abondance relative.

- *Nepa* sp (Dethier, 1985)



**Figure 60 :** *Nepa* sp.

*Nepa* sp (Figure 60) est un organisme de la classe des Insectes et de l'ordre des Hétéroptères. Il est caractérisé par une petite tête, les yeux saillants et globuleux et des antennes minuscules possédant 3 articles. Ses pattes antérieures sont ravisseuses, dépourvues de griffes avec un article unique au tarse. Il a des pattes moyennes et postérieures marcheuses, non natatoires. Les tibias et les tarses des pattes postérieures sont aplatis et garnis de soies. La membrane de l'hémélytre est réticulée et il possède un long siphon respiratoire non rétractile à l'extrémité de l'abdomen. Les premiers auteurs parlent d'organismes ayant jusqu'à 20 mm sans le siphon et nos spécimens mesurent entre 10 et 13 mm de longueur sans le siphon pour une

largeur allant de 5 à 8 mm. Ainsi nos spécimens ont une taille semblable à celle des auteurs précédents.

### III.1.6.3. Chironomidae

Dans la famille des Chironomidae, ce sont les individus appartenant à la tribu des Chironomini qui sont les plus abondants, représentant 70,57% d'abondance relative.

- **Chironomini** (Armitage *et al.*, 1995)

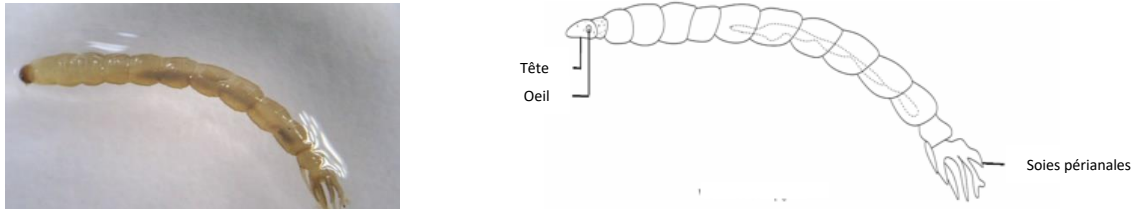


**Figure 61 : Chironomini nd**

Les Chironomini sont une tribu d'organismes de la classe des Insectes, de l'ordre des Diptères et la famille des Chironomidae. Leurs larves (Figure 61) sont eucéphales (ayant une tête individualisée), généralement de couleur rouge. Leur corps est cylindrique avec des pseudopodes prothoraciques et anaux. Ils possèdent des antennes pluriarticulées (généralement insérées directement sur la capsule céphalique) et deux yeux égaux de chaque côté de la tête (les 2 tâches oculaires étant disposées l'une au-dessus de l'autre) ou un seul œil rond. Ils possèdent également de plaques paralabiales striées en forme d'éventail et ne se touchent pas dans le plan médian. Leur clypeus est élargi vers l'avant et leurs soies dorsales portées par deux pédoncules à peine saillants. Les pseudopodes antérieurs sont courts et portent de fins spicules pendant que les pseudopodes postérieurs sont armés de crochets couvrant seulement les  $\frac{3}{4}$  de la base. L'éperon tibial antérieur est réduit. Les peignes tibiaux des autres pattes sont formées de petites épines juxtaposées unies par leur base. Les pièces génitales présentent une structure complexe. Les styles ne peuvent pas se replier et sont toujours allongés dans le prolongement des coxites. Nos spécimens mesurent entre 1 et 1,4 cm de long sur 0,04 et 0,06 cm de large, mensurations non-mentionnées par d'autres auteurs.

### III.1.6.4. Ceratopogonidae

Les spécimens de Ceratopogonidae récoltés dans cette étude n'ont pas pu être identifiés au-delà du rang de la famille.



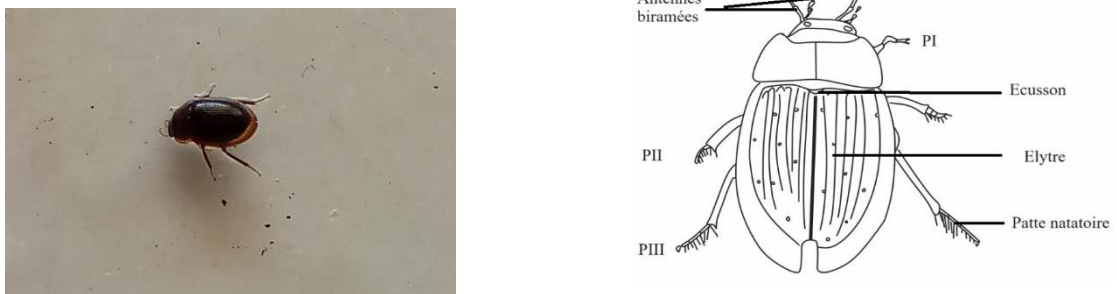
**Figure 62 :** Ceratopogonidae nd

Les Ceratopogonidae sont des organismes de la classe des Insectes et de l'ordre des Diptères. Leurs larves (Figure 62) sont eucéphales, d'un aspect vermiforme avec des segments allongés. Leur tête est effilée et normalement sclérifiée, elle porte 2 yeux volumineux, des antennes formées de plusieurs articles en chapelet et les derniers segments sont généralement allongés. Les pièces buccales sont de type piqueur. Leur prothorax est très réduit et non-visible de dessus. Ils ne possèdent pas de pseudopodes, mais plutôt quelques soies périnatales. Les spécimens fixés ont un aspect en aiguille caractéristique. Nos spécimens mesurent entre 1 et 1,3 cm de long sur 0,03 et 0,05 cm de large, mensurations non-mentionnées par d'autres auteurs.

### III.1.6.5. Pour les Hydrophilidae

Dans la famille des Hydrophilidae, les spécimens retenus dont *Chaetarthria sp* présentent une abondance relative de 48,46%.

- *Chaetarthria sp* (Hansen, 1987)



**Figure 63 :** *Chaetarthria sp.*

*Chaetarthria sp* (Figure 63) est un organisme de la classe des Insectes et de l'ordre des Coléoptères. Elle est caractérisée par un corps ovoïde plus ou moins bombé et un pronotum ayant une grande largeur à la base. Cette espèce a des antennes biramées, des pattes grandes, carnassières et de fortes mandibules creusées d'une rainure. Leur écusson est bien visible, les élytres ovalaires sont arrondis à l'arrière et les trois derniers segments abdominaux fusionnés pour former un ensemble caractéristique nommé « atrium ». Les Pattes P<sub>II</sub> et P<sub>III</sub> portent généralement des soies natatoires et les tarsi sont très courts. Les premiers sternites abdominaux sont cachés par une lame frangée de soies postérieurement. Nos spécimens avaient des longueurs allant de 5 à 7 mm (et des largeurs de 3 à 4 mm) pendant que les premiers auteurs évoquent des longueurs allant de 1 à 1,5 mm. Ceci montre que nos spécimens sont plus grands.

### III.1.6.6. Coenagrionidae

Dans la famille des Coenagrionidae, les principaux organismes récoltés sont *Coenagrion pro parte* avec 93,94% d'abondance relative.

- *Coenagrion pro parte* (Aguesse, 1968)



**Figure 64 :** *Coenagrion pro parte*

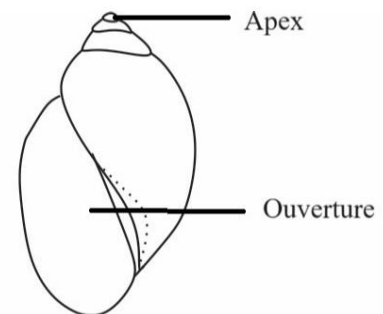
*Coenagrion pro parte* (Figure 64) est un organisme de la classe des Insectes et de l'ordre des Odonates. Les spécimens de *Coenagrion pro parte* sont caractérisés par la présence d'un labium transformé en organe préhenseur appelé masque. Leur tête est peu mobile, portant des antennes multiarticulées (de 6 à 7 articles). Les yeux sont composés et bien développés et les ocelles peu visibles. Leur labre est transversal et leurs mandibules présentent un lobe incisif avec de nombreuses dents aiguës. Quant aux maxilles, elles possèdent un palpe uniarticulé avec un apex sclérifié. Leur prémentum est sans incision médiane du bord antérieur et porte des soies disposées en deux rangées obliques. Pour ce qui est des lamelles caudales, elles sont de formes

variées : elles sont souvent étroites et se terminent par une pointe effilée (chez les jeunes larves) ou alors ont l'extrémité arrondie ou avec une pointe peu marquée (chez les larves de dernier stade). Les spécimens récoltés avaient des longueurs allant de 18 à 22 mm (et des largeurs allant de 0,2 à 0,3 cm) ; la littérature évoquant des tailles allant jusqu'à 25 mm.

### III.1.6.7. Pour les Physidae

La famille des Physidae est dominée par l'espèce *Physa* sp, représentant 73,63% d'abondance relative.

- *Physa* sp (Mouton, 1982)



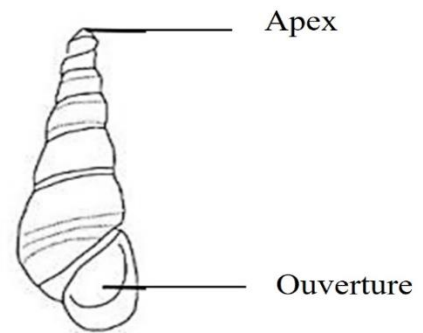
**Figure 65 :** *Physa* sp.

*Physa* sp (Figure 65) est un organisme de la classe des Mollusques et de l'ordre des Basommatophores. Cette espèce est caractérisée par une coquille de forme spiralée, sans enroulement dans un plan horizontal avec une surface lisse. Cette coquille est d'aspect ovoïde, pointue à l'extrémité, au dernier tour renflé et d'ouverture senestre (comme tous les Physidae). Les tentacules sont longs et fins. Son manteau a des digitations disposées de part et d'autre de l'ouverture. Les branchies sont absentes et la fonction respiratoire assurée par certains prolongements de manteau. Nos spécimens ont des longueurs allant de 7 à 10 mm (et des largeurs variant de 3 à 5 mm), la littérature mentionnant des longueurs pouvant atteindre 15 mm, soit une longueur légèrement plus grande.

### III.1.6.8. Melaniidae

Les principaux Melaniidae récoltés au cours de cette étude appartiennent à l'espèce *Melanoides manguensis*, représentant 38,98% d'abondance relative.

- *Melanoides manguensis* (Thiele, 1928)



**Figure 66 :** *Melanoides manguensis*

L'espèce *Melanoides manguensis* (Figure 66) est un organisme de la classe des Mollusques et de l'ordre des Mesogastropodes. C'est un mollusque dont la coquille est de faible épaisseur, sculptée de disques spirales fines et sans nodules. Son ouverture est dextre et plus petite que sa hauteur. L'opercule cornéen peut être paucispiral ou multispiral. La femelle possède une poche incubatrice près du cou séparée de l'utérus. Nos spécimens avaient des longueurs allant de 23 à 29 mm (et des largeurs variant de 7 à 9 mm), mensurations légèrement supérieures à celles de la littérature qui mentionne des dimensions de 21× 6 mm.

## III.2. DISCUSSION

### III.2.1. Variables physicochimiques

La qualité physico-chimique des eaux a varié en fonction du site d'étude, des activités qui y sont menées, de la station d'échantillonnage et de la saison.

Concernant la température des eaux, les valeurs étaient significativement plus élevées dans le site de Ngoa-ékellé ( $26,31 \pm 0,98^{\circ}\text{C}$ ) que dans celui d'Ezazou ( $24,35 \pm 0,27^{\circ}\text{C}$ ). Ceci pourrait s'expliquer par la densité de la population et par les heures de prélèvement. En effet, le site de Ngoa-ékellé est le plus peuplé et où les populations sont plus au contact de l'eau. En outre, les prélèvements y ont été effectués dans l'après-midi contrairement aux deux autres sites. Ceci corrobore les propos de Jain (2012) et Porse (2013) selon lesquels l'occupation anarchique et la surpopulation constituent des facteurs qui augmenteraient la température ambiante et par conséquent, celle de l'eau. Dans l'ensemble, la gamme de température obtenue ( $21,2^{\circ} - 29,5^{\circ}\text{C}$ ) se rapproche de celle ( $21,8^{\circ} - 25,8^{\circ}\text{C}$ ) obtenue par Nwaha (2023) dans quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun et surpasse légèrement celle ( $20,2^{\circ} - 23,9^{\circ}\text{C}$ ) obtenue par Biram à Ngon *et al.* (2024) dans certains cours d'eau forestiers témoins du Cameroun. Bien qu'on n'ait pas observé de différence significative entre les saisons, les températures légèrement plus basses ont été enregistrées pendant la grande saison de pluie et la petite saison sèche et les plus élevées pendant la petite saison de pluies et la grande saison sèche confirmant ainsi la thèse selon laquelle la température des eaux est influencée par la température ambiante (Cheney *et al.*, 2019).

Le pH observé au niveau des sites (6,82 - 8,43 UC) est légèrement acide à neutre dans l'ensemble (en dehors des pics ponctuels observés au mois de Novembre). Ceci serait dû au fait que les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau dépendent étroitement de la nature des sols du bassin versant (Arienzo *et al.*, 2001) qui dans ce cas, sont légèrement acides (Yongue, 1986). Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus dans L' Ekozoa (Ajeegah 1997), L' Abiergué (Foto Menbohan *et al.*, 2006) et La Mefou ( Foto Menbohan *et al.*, 2012 ). Le fait que le pH soit légèrement plus acide à Ezazou ( $8,04 \pm 0,14$  UC) et à Ahala ( $6,82 \pm 0,14$ ) pourrait s'expliquer par le fait que ces deux sites possèdent une plus forte abondance d'organismes que le site de Ngoa-ékellé ( $8,43 \pm 0,07$  UC) car selon Ajeegah *et al.* (2016), l'activité métabolique des organismes présents dans l'eau contribue à la conversion des carbonates en bicarbonate favorisant ainsi l'acidification du milieu. Dans l'ensemble, ces valeurs de pH obtenues sont dans la gamme de pH (5-9 UC) des eaux favorables à la vie aquatique (Dussart & Defaye,

1995). A l'échelle saisonnière, le pH n'a pas significativement varié d'une saison à l'autre bien qu'une légère acidité soit observée pendant la grande saison sèche.

Dans l'ensemble, les valeurs moyennes de conductivité électrique (186,35 - 334,61  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indiquent les eaux faiblement minéralisées (Nisbet & Verneaux, 1970). Cependant, les eaux de Ngoa-ékellé ( $334,61 \pm 85,41 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) se sont avérées significativement plus minéralisées que les eaux d'Ahala ( $214,04 \pm 90,84 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et d'Ezazou ( $186,35 \pm 15,23 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ceci s'expliquerait par le fait que Ngoa-ékellé est plus soumis aux apports permanents et diffus d'eaux usées domestiques par rapport aux deux autres sites. En effet, plusieurs canalisations débouchent dans les eaux du site de Ngoa-ékellé et augmenteraient ainsi la minéralisation des eaux. Les valeurs de conductivité enregistrées dans le site d'Ahala ( $214,04 \pm 90,84 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont très proches de celles obtenues ( $214,62 \pm 33,01 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) par Pateuck *et al.* (2024) dans certains marécages de la ville de Yaoundé. Le fait que les valeurs de conductivité aient été légèrement plus faibles en grande saison de pluie pourrait être dû à l'effet de dilution (Tachet *et al.*, 2010).

Les teneurs en Matières en Suspension (MES) obtenues étaient significativement plus élevées dans le site de Ngoa-ékellé ( $35,66 \pm 18,72 \text{ mg}/\text{L}$ ) que dans les sites d'Ezazou ( $19,43 \pm 5,05 \text{ mg}/\text{L}$ ) et d'Ahala ( $20 \pm 6 \text{ mg}/\text{L}$ ). Ceci s'expliquerait par le fait que le site de Ngoa-ékellé soit situé au cœur des résidences universitaires et reçoive tous leurs déchets solides, car selon Wéthé *et al.* (2003), la quantité de MES est liée aux apports exogènes en rapport avec l'érosion et au transport des particules non-solubles dans les eaux de ruissèlement. Les teneurs en MES obtenues dans les bas-fonds d'Ezazou ( $19,43 \pm 5,05 \text{ mg}/\text{L}$ ) et d'Ahala ( $20 \pm 6 \text{ mg}/\text{L}$ ) sont inférieures à celles obtenues par Ajeagah *et al.* (2016) dans certains bas-fonds de la ville de Yaoundé ( $61,41 \pm 21,44 \text{ mg}/\text{L}$ ). Cependant, ces eaux demeurent dans l'ensemble propices à la vie aquatique car d'après AE (2003), les teneurs en matières en suspension inférieures à 75  $\text{mg}/\text{L}$  n'auraient pas d'effets néfastes sur le développement de la plupart des organismes aquatiques. Sur le plan temporel, les teneurs en MES ont légèrement été plus faibles en petite saison sèche et plus élevées en grande saison de pluies bien que cette différence ne soit pas significative.

Concernant les teneurs en oxygène dissous, elles étaient assez faibles (moyennes  $< 70\%$ ) dans l'ensemble. Ces teneurs seraient attribuables à la stagnation des eaux en rapport avec le relief de bas-fonds de nos sites ; ce qui corrobore les propos de Tachet *et al.* (2010) selon lesquels la saturation est liée à la vitesse d'écoulement engendrant des phénomènes de

turbulence qui se traduisent par la réoxygénation des eaux. Quant aux plus faibles valeurs enregistrées dans le site de Ngoa-ékellé ( $62,24 \pm 3,6 \%$ ), elles seraient dues à l'enrichissement plus important des eaux en matières organiques d'origine anthropique. Dans l'ensemble, ces teneurs en Oxygène dissous sont supérieures à celles ( $16,05 \pm 7,77 \%$ ) obtenues par Pateuck *et al.* (2024) dans certains marécages de la ville de Yaoundé et à celles ( $58,79 \pm 19,10 \%$ ) obtenues par Nwaha *et al.* (2022) dans quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun ; cependant, ces teneurs sont inférieures à celles ( $80,44 \pm 10,01 \%$ ) obtenues par Mboye (2019) dans certains cours d'eau du Gabon et celles ( $73,72 \pm 12,48\%$ ) obtenues par Ndourwe *et al.* (2025) dans certains cours d'eau forestiers de la région du Littoral. Plus loin, la meilleure oxygénation des eaux à Ezazou par rapport aux autres sites est mise en évidence par l'Analyse en Composantes Principales qui associe ce site à des eaux oxygénées. A l'échelle temporelle, les pourcentages de saturation ont été légèrement plus faibles en grande saison sèche et plus élevées en petite saison sèche bien qu'on n'ait pas observé de différence significative.

Quant aux nitrates et nitrites, leurs teneurs étaient plus élevées dans le site d'Ezazou ( $21,67 \pm 17,98 \text{ mg/L}$  et  $0,87 \pm 0,3 \text{ mg/L}$  respectivement) que dans les deux autres sites ( $5,36 \pm 0,74 \text{ mg/L}$  et  $0,36 \pm 0,21 \text{ mg/L}$  à Ngoa-ékellé et  $3,42 \pm 1,03 \text{ mg/L}$  et  $0,14 \pm 0,14 \text{ mg/L}$  à Ahala respectivement) suite à l'utilisation des fertilisants agricoles dans l'activité maraîchère à Ezazou. En effet, les engrais utilisés ici sont de nature azotée et par infiltration atteignent les eaux. Des pics de nitrates sont enregistrés aux mois d'Août et Mai et ceux de nitrites aux mois de Décembre et Avril correspondant aux périodes d'épandage des engrais et de pesticides riches en nitrates et de la transformation des nitrates en nitrites. Ces valeurs sont largement au-dessus de celles ( $0,3 - 6,9 \text{ mg/L}$ ) obtenues par Ajeegah *et al.* (2016) dans certains bas-fonds de la ville de Yaoundé et de celles ( $0 - 0,99 \text{ mg/L}$ ) obtenues par Harissou *et al.* (2023) dans certains cours d'eau du Sud Cameroun. Quant aux saisons, aucune différence significative n'a été observée d'une saison à l'autre.

Les teneurs en azote ammoniacal varient peu d'un site à l'autre bien que le site de Ngoa-ékellé ait présenté des valeurs légèrement plus élevées. En effet, l'analyse en Composantes Principales indique les teneurs relativement élevées en azote ammoniacal dans les eaux des stations Ole 1 et Ole 2. Dans l'ensemble, les teneurs obtenues ( $0,2 \pm 0,09 \text{ mg/L}$ ) étaient faibles par rapport à celles obtenues par Foto Menbohan *et al.* (2012) dans la Mefou, un cours d'eau péri-urbain. Sur le plan temporel, les valeurs les plus faibles ont été enregistrées en grande saison de pluies et les plus élevées en petite saison de pluies, mais sans différence significative.

Les concentrations en Orthophosphates n'ont pas significativement varié d'un site à l'autre, à l'exception de la station Ole 4 dont les teneurs ( $0,14 \pm 0,1$  mg/L) plus élevées seraient favorisées par la forte densité de la population couplée aux déversements de détergents dans l'eau (INRA, 2005). Les teneurs obtenues dans les 2 autres sites ( $0 - 0,23$  mg/L à Ezazou et  $0 - 1,4$  mg/L à Ahala) sont faibles comparées à celles ( $0,28 - 1,96$  mg/L) obtenues par Ajeegah *et al.* (2016) dans certains bas-fonds et se rapprochent de celles ( $0,01 - 1,1$  mg/L) obtenues par Biram à ngon *et al.* (2024) dans l'Abouda. Dans l'ensemble nos teneurs favoriseraient le développement de nombreux groupes biologiques (Efendene & Riwoom, 2000).

Dans l'ensemble, les valeurs de l'oxydabilité étaient faibles ( $< 4$  mg/L) indiquant une faible pollution organique bien que le site de Ngoa-ékellé ait présenté des valeurs légèrement plus élevées ( $3,5 \pm 0,69$  mg/L) que les deux autres sites, avec des pics à la station Ole 4 dûs à la pression anthropique un peu plus importante à cette station. Nos résultats sont très inférieurs à ceux obtenus ( $44,6 \pm 16,07$  mg/L) par Pateuck *et al.* (2024) dans certains marécages de la ville de Yaoundé (Mbankomo, Nkooza et Ayene). Des pics ont été observés dans tous les sites aux mois de Février et de Mars correspondant à la grande saison sèche et début de la petite saison de pluies, dûs au faible écoulement des eaux favorisant la concentration de la matière organique. Cette hypothèse est d'ailleurs corroborée par le fait que les plus faibles valeurs d'oxydabilité aient été enregistrées pendant la grande saison de pluies.

Les valeurs de la turbidité et de la couleur sont légèrement plus élevées dans le site de Ngoa-ékellé ( $32,44 \pm 17,83$  FTU ;  $238,83 \pm 49,7$  Pt-Co), dont les eaux constituent un réceptacle de déchets de nature diverse. Ces valeurs de turbidité sont supérieures à celles obtenues ( $28,01$  FTU) par Nwaha (2023) sur certains cours d'eau de la région du Sud. Dans le site de Ngoa-ékellé, les particules solides associées aux matières en suspension, seraient responsables de la turbidité et du colmatage, ce qui influence la couleur de l'eau. Tout ceci est d'ailleurs exprimé par les corrélations significatives et positives obtenues dans ce site entre les MES et la couleur ( $r = 0,0976$  ;  $p < 0,01$ ), les MES et la turbidité ( $r = 0,0857$  ;  $p < 0,01$ ) ainsi que la turbidité et la couleur ( $r = 0,0833$  ;  $p < 0,05$ ). Sur le plan temporel, des pics de turbidité et de MES sont observés sur le même site en grande saison de pluies, dues à la remise en suspension des particules.

En ce qui concerne l'Indice de Pollution Organique (IPO), il a indiqué une pollution modérée dans le site d'Ezazou, modérée à forte à Ngoa-ékelle et modérée à faible dans le site de Ahala. Grâce à l'Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) et l'Analyse en Composante

Principales (ACP) réalisées à partir des paramètres physico-chimiques qui distinguent particulièrement le site d'Ezazou des 2 autres sites, on pourrait prétendre que la pollution modérée dans le site d'Ezazou serait due aux teneurs élevées de nitrates/nitrites provenant des engrais et pesticides pendant que la pollution modérée à forte à Ngoa-ékelle proviendrait de fortes charges en matières organiques. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par Nwaha (2023) dans le Metyi ( $3,41 \pm 0,48$ ), le Bengo ( $3,64 \pm 0,6$ ), le Sounou ( $3,46 \pm 0,5$ ) et le Lo'o ( $3,77 \pm 0,62$ ).

### III.2.2. Variables biologiques

#### ➤ Richesse taxonomique et abondance relative

Concernant la richesse taxonomique et l'abondance relative, le site d'Ezazou a présenté les valeurs plus élevées que les deux autres sites. Ceci serait lié au caractère peu anthropisé du site d'Ezazou. En effet, plusieurs auteurs s'accordent que le nombre d'espèces de macroinvertébrés benthiques et leur abondance diminuent drastiquement avec l'urbanisation des bassins versants (Wang *et al.*, 2012 ; Albrecht *et al.*, 2013 ; Xu *et al.*, 2013). Cet état de choses pourrait également s'expliquer par le fait que le site d'Ezazou est parcouru par trois cours d'eau ; ce qui prédispose à des organismes plus nombreux et des groupes taxonomiques différents. Ces fortes richesses et abondances seraient également imputables à la vitesse du courant qui était plus faible à Ezazou que dans les deux autres sites car selon Tachet *et al.*, 2010, les vitesses de courant élevées peuvent entraîner la dérive des organismes. En outre, Tchakounté *et al.*, 2015 affirment que la stabilité d'un cours d'eau favorise la diversité des microhabitats et donc une hausse de l'abondance et de la richesse. Cette différence peut également s'expliquer par les conditions physico-chimiques régnant dans le site d'Ezazou. En effet, le bas-fond d'Ezazou a des taux de saturation en oxygène dissous plus élevés que les autres ce qui permettrait un meilleur développement des macroinvertébrés benthiques qui sont des organismes essentiellement aérobies.

Concernant les faibles richesses et abondances obtenues dans le site de Ngoa-ékellé, elles seraient imputables à la pollution organique et chimique et donc plus stressante dans ce site comparativement aux deux autres. Ceci serait donc la résultante de la mauvaise qualité physico-chimique des eaux du fait de la pression anthropique intense. La richesse taxonomique dans ce site (64 taxons) est inférieure à celle obtenue dans la ville de Yaoundé (96 taxons) par Foto Menbohan *et al.* (2012) mais supérieure à celle obtenue (57 taxons) par Tchakonté (2016) dans le bassin du Mgoua qui s'étend sur la zone industrielle de Bassa à Douala. Il faut également

souligner que les faibles valeurs d'abondance obtenues dans le site de Ngoa-ékellé (2821 individus), sont supérieures à celles obtenues sur la Mefou (1801 individus) et sur le Nga (2553 individus) par Foto Menbohan *et al.*, 2012 et 2013.

Les richesses taxonomiques et d'abondance obtenues dans le site d'Ahala sont inférieures à celles obtenues dans le site d'Ezazou et supérieures à celles du site de Ngoa-ékellé. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le site d'Ahala est lui aussi sujet à des perturbations telles que : la déviation et l'aspiration des eaux pour les travaux de l'autoroute Yaoundé-Douala, l'entassement de quelques déchets ménagers ainsi que la proximité des populations avec les eaux près desquelles elles vivent, défèquent et pratiquent l'aviculture. Concernant les réaménagements liés aux travaux de l'autoroute, ils déstabiliseraient les communautés benthiques, ils détruiraient la végétation et les microhabitats, homogénéiseraient les fonds et par conséquent réduiraient la biodiversité macrozoobenthique (Moisan & Pelletier, 2008 ; Zhang *et al.*, 2013). La richesse taxonomique obtenue à Ahala (74 taxons) se rapproche de celle obtenue (73 taxons) par Moanono (2022) dans les mangroves de la côte du Littoral Camerounais ce qui confirme l'assertion de Aller J et Aller C (2004) selon laquelle le perpétuel stress environnemental et les perturbations physiques auxquels sont soumis les écosystèmes tels que les mangroves sont à l'origine des faibles richesses taxonomiques de la macrofaune benthique. Cette richesse taxonomique se rapproche également de celle obtenue par Tchakonté (2016) sur le bassin du Tongo' a-Bassa (70 taxons), une zone urbaine de la ville de Douala, densément peuplée, avec plusieurs industries, présentant une pollution bien matérialisée et une végétation des marécages.

Ainsi donc, le site d'Ezazou regorgerait des microhabitats plus diversifiés et plus stables (Lewin *et al.*, 2013) et serait donc moins perturbé que les sites de Ngoa-ékellé et d'Ahala car selon Fernandes *et al.* (2014) l'installation et la stabilité des communautés macrobenthiques sont étroitement dépendantes de l'intégrité abiotique du milieu.

➤ Concernant les différents embranchements,

Les Arthropodes ont été les plus abondants avec (84,46 % d'abondance relative) suivis des Mollusques (10,05 % d'abondance relative) puis des Annélides (5,49 % d'abondance relative). Cette forte prédominance des Arthropodes pourrait s'expliquer par leur cosmopolitisme, leur diversité et leur grande capacité à s'adapter à des environnements variés (Tachet *et al.*, 2010). Des résultats avec une structure similaire ont été obtenus par Nwaha (2023) dans quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun et par Boudem (2023) dans les cours

d'eau Lobo, Dja et le Lac de barrage de Mékin, de la région du Sud-Cameroun. Cependant, Moanono (2022) a obtenu une structure différente dans les mangroves de la côte du Littoral Camerounais où les Mollusques étaient plus abondants avec 63,01% d'abondance relative.

➤ Quant aux classes,

Les Insectes sont la classe présentant le plus grand nombre d'espèces et les plus fortes abondances dans chacun des sites. Cette prédominance des Insectes (84,34% d'abondance relative) pourrait s'expliquer par le fait que les arthropodes et plus particulièrement les Insectes jouissent d'une plasticité génétique et d'un cosmopolisme qui leur confèrent une grande habilité à coloniser des niches écologiques différentes tout en s'adaptant à l'état du milieu (Tachet *et al.*, 2010). Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus dans certains cours d'eau de la région du Sud-Cameroun par Nwaha (2023) où les Insectes dominaient également (63,67% d'abondance relative). La prédominance des Insectes pourrait également indiquer une certaine dégradation des sites et une pollution assez marquée car d'après Tachet *et al.* (2010) et Colas *et al.* (2013), les Insectes, en dehors des EPT (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) pullulent dans les écosystèmes dégradés, aux environnements insalubres et riches en matières organiques et déchets domestiques. Plus loin, l'écrasante dominance numérique des Insectes sur le plan spatial et saisonnier mettrait en exergue le fait que le peuplement dans les sites, a tendance à être représenté par un seul type d'organismes et que le milieu serait perturbé (Levêque & Balian, 2005). Cet état de choses est davantage traduit par les valeurs des indices de diversité de Shannon et Weaver qui tendent plus vers 0 que vers  $\log_2 S$ .

Loin de la classe des Insectes, on note celle des Crustacés présente uniquement aux stations Od 1, Od 2 et Ole 1 avec une seule espèce, *Asellus aquaticus*. Cette faible richesse taxonomique des Crustacés pourrait traduire d'une part des eaux polluées, car les Crustacés en général sont des taxons polluosensibles (Tachet *et al.*, 2010) et d'autre part une oxygénation peu satisfaisante couplée à l'absence de litière qui leur sert de refuge. Cette richesse taxonomique des Crustacés est inférieure à celles de Foto Menbohan *et al.* (2013) et Nyamsi Tchatcho *et al.* (2014) qui ont obtenu respectivement 2 et 4 espèces de Crustacés dans les cours d'eau périurbains de la ville de Yaoundé.

➤ S'agissant des Ordres,

Les Coléoptères ont été les plus riches en espèces mais ce sont les Diptères qui ont été les plus abondants dans chacun des sites. Cette prédominance des Ordres des Coléoptères et des

Diptères pourrait s'expliquer par le fait ces deux ordres sont les plus importants numériquement de la classe des Insectes (Tachet *et al.*, 2010). La forte abondance des Diptères a également été observée par Pateuck *et al.* (2024) dans certains marécages de la ville de Yaoundé (Mbankomo, Nkooza et Ayene) où les Diptères dominaient avec 56,22% d'abondance relative. Concernant la prédominance spécifique des Coléoptères, elle pourrait également s'expliquer par le fait qu'ils sont généralement réputés très abondants dans les milieux stagnants et à caractère marécageux (Durant & Levêque, 1991). Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Moanono (2022) dans certaines Mangroves de la côte du Littoral-Camerounais où ce sont les Décapodes qui étaient les plus riches avec 51 espèces.

Les Diptères sont suivis respectivement des Odonates et des Hétéroptères dans les sites d'Ezazou et Ngoa-ékellé et des Basommatophores dans le site d'Ahala. Cette structure faunique est très différente de celle dressée par Nyamsi Tchatcho *et al.* (2014) dans des stations de référence des cours d'eau forestiers périurbains de la ville de Yaoundé où les Hexapodes prédominent avec 134 taxa (soit 88,74 %) et sont principalement représentés par le groupe EPT (33,11 %), les Coléoptères (17,22 %), les Odonates (15,89 %) et les Hémiptères (10,60 %). Et si l'on se base sur les conclusions des travaux de Rios & Bailey (2006) selon lesquelles le groupe EPTC constitue une part importante de la richesse spécifique et de l'abondance des macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau peu-soumis aux perturbations anthropiques, on pourrait affirmer que nos sites sont fortement perturbés.

Sur le plan numérique on note une résurgence de l'ordre des Basommatophores à Ngoa-ékellé (24,92% abondance relative) plus particulièrement les Physidae et les Lymnaeidae aux stations Ole 3 et Ole 4. Associé aux Diptères, ceci pourrait signifier une certaine accentuation de la pollution dans ce site car Grimes (2010) affirment que les Gastéropodes Basommatophores et les Insectes Diptères (notamment les Chironominae) sont bien adaptés à la pollution avec des côtes de tolérances les plus élevées. Des résultats similaires avaient été obtenus par Foto Menbohan *et al.* (2012) dans les cours d'eau urbains de Yaoundé, où seules trois espèces très résistantes à la pollution organique (*Physa acuta*, *Chironomus plumosus* et *Tubifex tubifex*) dominaient numériquement le peuplement. Il en est de même pour les travaux de Pateuck *et al.* (2024) dans certains marécages de la ville de Yaoundé (Mbankomo, Nkooza et Ayene) où les Diptères (56,22%) étaient suivis des Basommatophores (17,4%).

Bien que classés parmi les Ordres les moins représentés, la présence de certains organismes EPT est à relever. Il s'est agi d'une part, des Ephéméroptères dans le site d'Ezazou

(0,14% d'abondance relative) et de Ngoa-ékellé (0,57% d'abondance relative) et d'autre part des Ephéméroptères (0,07% d'abondance relative) et des Trichoptères (1,5% d'abondance relative) dans le site d'Ahala. Contrairement aux autres sites où les EPT n'ont été recoltés qu'à certaines stations, le site d'Ezazou a abrité les Ephéméroptères à toutes ses stations, ce qui pourrait stipuler une assez bonne qualité des eaux dans l'ensemble du site car ces organismes jouissent d'une assez grande sensibilité à la pollution (Tachet *et al.*, 2010).

➤ Concernant les familles,

Bien que les Hydrophilidae aient été la plus riche en espèces, la famille des Chironomidae a été la plus abondante à tous les sites avec respectivement 71,8%, 55,7% et 65,7% d'abondance relative dans les sites d'Ezazou, de Ngoa-ékellé et d'Ahala. Cette prédominance des Chironomidae traduirait à la base, un état de pollution de tous les sites car Colas *et al.* (2013) et Milošević *et al.* (2014) affirment que les larves des Chironomidae (notamment *Chironomus*) sont tolérantes à la pollution organique, chimique et même métallique. En outre, Armitage *et al.* (1995) affirment que ces larves sont capables de résister aux conditions d'hypoxie ou d'anoxie occasionnelle. Cette prédominance des Chironomidae pourrait également s'expliquer par le fait qu'ils sont le groupe numériquement dominant de la faune benthique (Durant & Levêque, 1991). Les fréquences d'occurrence ont d'ailleurs révélé que ces Chironomidae ont constitué, avec les Belostomatidae et les Hydrophilidae les trois familles omniprésentes dans tous les sites.

Plus loin, les Chironomini, individus les plus dominants de cette famille, appartiennent aux sous-familles qui ont « le comportement de recherche » c'est à dire qu'ils nagent en mouvements désordonnés pour trouver de meilleures conditions de vie, ce qui fait qu'ils sont donc plus facilement capturés (Tachet *et al.*, 2010). Parmi les sous-familles des Chironomidae, les Orthoclaadiinae et les Tanypodinae ont été très peu abondants (en comparaison aux Chironomini et *Chironomus*) à Ezazou et Ahala et quasi-inexistants à Ngoa-ékellé. Ceci mettrait en exergue un certain état de pollution des eaux car selon Milošević *et al.* (2014), ces deux sous-familles seraient polluosensibles, laquelle pollution serait donc plus marquée à Ngoa-ékellé.

Le fait que les Chironomidae aient été suivis des Belostomatidae à Ezazou (7,8% d'abondance relative) et Ahala (10% d'abondance relative) et plutôt des Physidae (20,5% d'abondance relative) et Lymnaeidae (6,5% d'abondance relative) à Ngoa-ékellé pourrait traduire une certaine meilleure qualité des eaux à Ezazou et Ahala par rapport à Ngoa-ékellé

car les Physidae et les Lymnaeidae sont des groupes plus polluo-tolérants que les Belostomatidae révélant ainsi un état d'altération plus avancé dans le site de Ngoa-ékellé. En effet, Wang *et al.* (2012) et Bernot & Brandenburg (2013) ont montré que les Lymnaeidae et les Physidae affectionnent les milieux très pollués et 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 vascularisée ; ils sont en fait dotés d'un poumon et peuvent survivre pendant un temps plus ou moins long hors de l'eau. Les résultats obtenus dans le site de Ngoa-ékellé se rapprochent de ceux de Foto Menbohan (2012) dans les cours d'eau urbains du réseau hydrographique du Mfoundi à Yaoundé, présentant une prééminence des groupes polluo-tolérants et une faible représentativité des groupes polluo-sensibles. Des résultats similaires ont également été obtenus par Cabral-Oliveira *et al.* (2014) dans certaines eaux fortement polluées de la péninsule de Peniche (Portugal) où les taxons polluo-sensibles ont été entièrement remplacés par des groupes tolérants opportunistes.

A Ezazou, font suite aux Belostomatidae, les Coenagrionidae (4,7% d'abondance relative) et les Libellulidae (4,2% d'abondance relative) pendant qu'à Ahala, ils sont suivis des Physidae (5,6% d'abondance relative) et des Lymnaeidae (3,2% d'abondance relative). En se basant sur l'écologie des Coenagrionidae et Libellulidae d'une part et sur celle des Physidae et Lymnaeidae d'autre part, on pourrait dire qu'Ahala est un milieu plus dégradé et plus perturbé qu'Ezazou.

#### ➤ Variation saisonnière

Dans l'ensemble, le fait que la saison au cours de laquelle a été récoltée le moins d'organismes soit la grande saison de pluies (20,28% d'abondance relative) pourrait s'expliquer par le fait que certains organismes sont emportés par les forts courants d'eau suite aux pluies (Tachet *et al.*, 2010). Ainsi donc, les pluies constituent un facteur qui provoquerait la dérive des organismes. Le fait que la saison au cours de laquelle a été récoltée le plus d'organismes soit la grande saison sèche (31,3% d'abondance relative) serait dû au fait que la saison sèche offre des conditions plus calmes qui favorisent l'installation des organismes et leur maintien sur le substrat qui est plus stable et moins perturbé. En outre, la baisse du niveau des eaux au cours de la saison sèche favorise la concentration des organismes sur une surface plus réduite augmentant ainsi leur densité apparente lors de l'échantillonnage. Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus par Nwaha (2023) dans quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun

où la grande saison sèche présentait la plus grande abondance de MIB (43,38 % d'abondance relative). Cependant, il est à noter que toutes ces différences des abondances de MIB au cours des saisons n'étaient pas significatives ; on est donc en présence d'une non-variabilité saisonnière qui pourrait indiquer une faible variabilité de la physico-chimie des eaux au cours du temps. Ceci est d'ailleurs corroboré par le fait que quasiment aucune des variables physico-chimiques n'a présenté de différences significatives dans sa variation saisonnière. Ces résultats se rapprochent de ceux de Edia *et al.* (2007) et Camara (2013) qui ont également présenté une non-variabilité saisonnière significative de la richesse taxonomique dans certaines rivières en Côte d'Ivoire.

### III.2.3. Indices biocénotiques

De l'analyse des résultats des indices de diversité (Shannon-Weaver et Piélu) de chaque site, il ressort que ces indices sont plus élevés à Ezazou ( $H' = 2,27 \pm 0,95$  bits/ind ;  $J = 0,37 \pm 0,16$ ) bien que cette différence ne soit pas significative. Cette légère élévation des valeurs pourrait indiquer que le peuplement d'Ezazou est mieux diversifié, mieux organisé et plus stable car Lévêque & Balian (2005) affirment que les indices de diversité élevés traduisent un peuplement équilibré, plus stable et où il n'y a pas de taxon qui domine largement en nombre. Nos résultats sont différents de ceux obtenus par Moanono (2022) dans les mangroves de la côte du Littoral-Camerounais où les stations des mangroves d'eau douce avaient des valeurs de l'indice de Shannon-Weaver  $< 3$  bits/ind pendant que celles des eaux saumâtres étaient  $> 3$  bits/ind. Concernant les plus faibles valeurs de ces descripteurs dans le site de Ngoa-ékellé ( $H' = 2,01 \pm 0,38$  bits/ind ;  $J = 0,33 \pm 0,06$ ) elles indiqueraient un peuplement moins diversifié, moins bien organisé et plus déséquilibré car Dajoz (2000) affirme que les faibles valeurs de l'indice de diversité indiquent des communautés peu diversifiées avec un faible degré d'organisation.

Les valeurs d'indices de diversité moins élevées à la grande saison de pluies s'expliqueraient par le fait qu'au cours de cette saison, les hauts débits d'eau de ruissellement perturbent la stabilité des microhabitats entraînant ainsi le déplacement ou la disparition de certaines espèces peu-robustes contrairement à la grande saison sèche où on note une plus grande diversité (Tachet *et al.*, 2010). Ces résultats sont différents de ceux de Moanono (2022) où les valeurs de diversité étaient plus élevées en saison de pluies qu'en saison sèche.

L'analyse des similitudes entre les stations et les sites grâce au coefficient de similarité de Sorensen révèle que les similarités sont plus élevées entre stations du même site et entre les

sites de Ngoa-ékellé et d'Ahala. La forte similitude entre les sites de Ngoa-ékellé et d'Ahala met en relief le fort impact que pourrait avoir le stress environnemental qui prévaut à Ahala au point de rapprocher son peuplement de celui de Ngoa-ékellé. Ceci corrobore le fait que les taux de ressemblance des communautés benthiques entre les sites sont plus élevés lorsque ces derniers sont soumis aux mêmes types de pressions anthropiques (Villéger, 2008).

#### **III.2.4. Caractérisation biologique**

➤ Analyse en Composantes Principales et Analyse de Classification Hiérarchique

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des paramètres physico-chimiques révèle que les eaux ont une physico-chimie assez différente d'une station à l'autre dans le site de Ngoa-ékellé. En effet, les deux premières stations (Ole 1 et Ole 2) seraient caractérisées par des eaux ayant des concentrations élevées en azote ammoniacal pendant que les deux dernières (Ole 3 et Ole 4) auraient des eaux colorées, turbides, alcalines, riches en matières en suspension et en matières organiques oxydables. Ceci serait imputable au degré d'anthropisation de ces stations, car en effet, il y'a moins d'individus près des eaux aux stations Ole 1 et Ole 2 contrairement aux stations Ole 3 et Ole 4. Cette disparité des stations de ce site est davantage mise en exergue par le coefficient de similarité de Sorensen dont les plus faibles pourcentages s'enregistrent entre les stations Ole 1 et Ole 4 (39,02%) et Ole 2 et Ole 4 (43,48%).

De l'analyse combinée des résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des familles d'organismes et celle réalisée à partir des paramètres physico-chimiques, on pourrait déduire que les 6 familles du groupe II (Tubificidae, Belostomatidae, Coenagrionidae, Baetidae, Libellulidae et Glossiphonidae) retrouvées dans le site d'Ezazou et les 3 familles du groupe IV (Syrphidae, Melanidae et Lumbricidae) retrouvées à la station Mfo 3 affectionnent les eaux riches en nitrates et ayant des pourcentages d'oxygène moyens. Les résultats de l'Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) confirment d'ailleurs que toutes les stations du site d'Ezazou ont une certaine physico-chimie propre car elle les regroupe exclusivement dans un groupe (le groupe I).

➤ Self-Organizing Map et Individual Value

La carte SOM a permis de regrouper tous les taxons obtenus au terme de cette étude en 4 principaux groupes. De tous ces groupes, seuls les groupes I (échantillons du site de Ngoa-ékellé) et III (échantillons du site d'Ezazou) peuvent renseigner sur les conditions écologiques d'un site en particulier car constitués presque exclusivement des échantillons provenant de ces

sites. C'est ainsi qu'en rattachant les taxons exclusifs de chacun de ces groupes aux conditions physico-chimiques qui prévalent dans les sites concernés, on peut suggérer que :

- d'une part, les organismes *Micronecta* sp, *Sphaerium* sp, Syrphidae nd, *Olonogyrus* sp, *Hydraena* sp et *Physa* sp affectionneraient les eaux colorées, turbides, alcalines, riches en matières en suspension et en matières organiques oxydables (qui sont en effet les eaux du site de Ngoa-ékellé relevées par l'ACP de physico-chimie) ;
- et d'autre part, les organismes *Caenis* sp, *Cymbiodyta* sp, *Somatochlora pro parte*, Stratiomyidae nd, *Argia* sp et *Gerris* sp affectionneraient les eaux moins chargées en matières organiques et assez oxygénées (telles celles du site d'Ezazou).

Concernant la méthode Individual Value (IndVal) appliquée aux organismes biologiques, elle a permis d'identifier 31 taxons indicateurs significatifs sur la base des groupes définis par l'analyse SOM. Le groupe GI et la combinaison des groupes GII+GIV présentent le moins de taxons (1 seul) pendant que le groupe GIII présente le plus grand nombre de taxons (14). De tous ces taxons, les plus indicateurs retenus pour notre étude ont été ceux dont les valeurs IndVal sont  $\geq$  à 65%. Il s'agit de :

- ✓ Le Basommatophore *Physa* sp (IndVal = 65 %) pour le groupe GI ;
- ✓ le Diptère *Chironomus* sp (IndVal = 79,1%) pour le groupe GII ;
- ✓ les Odonates *Coenagrion pro parte* (IndVal = 78,2%) et *Orthetrum* sp (IndVal = 77,0%) pour le groupe GII+GIII ;
- ✓ le Diptère Chironomini nd (IndVal = 90,1%) pour le groupe GIII+GIV ;
- ✓ et l'Hétéroptère *Appasus* sp (IndVal = 92,7%) pour le groupe GII+GIII+GIV.

Ainsi donc les taxons *Physa* sp, *Chironomus* sp, *Coenagrion pro parte*, *Orthetrum* sp, Chironomini nd et *Appasus* sp peuvent être considérés comme les meilleurs bioindicateurs des conditions qui règnent dans chacun des milieux décrits par les groupes et les combinaisons de groupes de l'analyse SOM qu'ils caractérisent. Le fait que le Diptère *Chironomus* sp soit le meilleur bioindicateur du groupe II de la SOM (constitué des échantillons provenant de tous les sites) mettrait en exergue le fait que dans l'ensemble tous ces hydrosystèmes sont sujets à une pollution organique car les organismes de cette espèce se développent généralement dans les milieux très chargés en matières organiques et peu oxygénés (Tachet *et al.*, 2010). Dans le même ordre d'idées, le fait que le Basommatophore *Physa* sp soit le meilleur bioindicateur du groupe I de la SOM (constitué essentiellement des stations du site de Ngoa-ékellé) corrobore le

fait que les eaux de ce site sont particulièrement sujettes à une forte pollution organique car ces organismes affectionnent les eaux très chargées en matières organiques (Tachet *et al.*, 2010).

#### ➤ Groupes trophiques

Pour ce qui est des groupes trophiques, le fait que les filtreurs soient les plus abondants dans tous les sites traduirait un état de pollution généralisé assez considérable car selon Reid *et al.* (2013), les filtreurs/collecteurs et les détritivores sont les premiers et les principaux groupes fonctionnels à coloniser les milieux aquatiques pollués. Ces résultats sont différents de ceux de Tchakonté (2016) qui a obtenu une prééminence spécifique des prédateurs dans le Nsapé (cours d'eau peu anthropisé) et une dominance des détritivores dans les cours d'eau urbains (anthropisé) de Douala.

Pour la prééminence spécifique, les prédateurs qui étaient les moins abondants présentent plutôt une assez grande richesse spécifique avec *Appasus* sp, *Coenagrion pro parte* et *Orthetrum* sp qui chassent à l'affût les vers et les larves d'autres insectes aquatiques et utilisent leurs mandibules pour broyer leurs proies (Tachet *et al.*, 2010). Cette richesse des prédateurs sous-entendrait également la présence de nombreuses et diverses potentielles proies car selon Lecerf (2005), une forte corrélation positive existe entre la grande disponibilité des proies et la diversité des prédateurs. Ces résultats sont similaires à ceux de Mboye (2019) dans la Mabouinié où les prédateurs avaient également la plus grande richesse taxonomique mais différent de ceux de Nwaha (2023) où ce sont les détritivores qui prédominaient. Dans le site de Ngoa-ékellé par contre, la plus forte richesse spécifique des détritivores confirmerait les teneurs élevées de matières organiques d'origine anthropique en putréfaction dans les eaux. Ces organismes se servent de leurs pièces buccales de type suceur ou piqueur-suceur pour prélever les micronutriments (tels que les bactéries, les algues et le plancton) et les déchets organiques en décomposition. En effet, du fait des températures élevées, la décomposition de ces matières est beaucoup plus assurée par les microorganismes bactériens et fongiques (Wang *et al.*, 2014 ; Taylor & Chauvet, 2014) ce qui crée un environnement propice au pullulement de ces taxons indiquant ainsi un état de pollution chronique.

### **III.2.5. Morphométrie des taxons prédominants**

L'analyse des caractères morphologiques des taxons prédominants révèle que nos spécimens présentent les mêmes caractères morphologiques généraux que ceux de la littérature mais concernant les mensurations, certains de nos spécimens se sont avérés soit plus petits (*Appasus* sp) soit plus grands (*Chaetarthria* sp et *Melanoides manguensis*).

Concernant *Appasus* sp, ce sont des organismes qui évoluent mieux en eau douce calme ou à faible courant ce qui justifierait leur présence dans nos bas-fonds. En outre, ce sont des prédateurs, se nourrissant de petits invertébrés tels que les larves de Diptères et les vers de vase (Tachet *et al.* 2010), lesquelles proies sont présentes dans ces bas-fonds. Ces derniers constituent ainsi des milieux propices au développement de *Appasus* sp car sont des milieux moins stressants, aux vitesses d'écoulement faibles, leur permettant de s'établir et de se déplacer aisément, ce qui explique leur forte abondance dans ces sites où ils priorisent la reproduction au détriment de la croissance. On a donc une forte abondance mais des spécimens plus petits et fébriles.

Pour ce qui est de *Chaetarhria* sp et *Melanoides manguensis*, nos spécimens avaient des mensurations plus grandes que celles de la littérature et étaient plus abondants dans le site d'Ezazou. Les exigences de ces organismes en rapport avec les conditions environnementales qui prévalent dans le site d'Ezazou ne nous permettent pas d'expliquer aisément cette différence de mensurations. Nous pouvons être en présence de nouveaux morphotypes et seules les analyses biomoléculaires pourront confirmer ou infirmer cette thèse.

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS  
ET PERSPECTIVES**

La diversité des macroinvertébrés benthiques associée aux variables abiotiques ont été étudiées dans trois bas-fonds de la ville de Yaoundé. Sur le plan de la physico-chimie, les analyses révèlent que dans l'ensemble, les eaux ont été acides à neutres, faiblement minéralisées, moyennement oxygénées, peu chargées en orthophosphates, avec de faibles valeurs en oxydabilité.

Dans le bas-fond d'Ezazou, les eaux se sont avérées être un peu plus oxygénées et plus riches en nitrates et nitrites pendant que celles du site de Ngoa-ékellé se démarquent par des températures, une alcalinité et une conductivité électrique significativement plus élevées associés à une oxydabilité, une couleur et une turbidité légèrement plus élevées. Concernant le site d'Ahala, ses eaux se sont révélées être plus acides que celles du site de Ngoa-ékellé et possédant une conductivité électrique plus élevée que celles du site d'Ezazou.

Un effectif de 17158 spécimens de macroinvertébrés benthiques a été récolté au terme de cette étude. Ces organismes sont répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 6 classes (Insectes, crustacés, gastéropodes, Bivalves, Oligochètes et Achètes), 15 Ordres et 66 familles. Pour ce qui est de la richesse taxonomique, les valeurs obtenues au terme de cette étude étaient inférieures à celles obtenues par d'autres auteurs dans les hydrosystèmes d'envergure similaire dans les villes de Douala et de Yaoundé. Dans le bas-fond d'Ezazou, cette disparité de la richesse taxonomique serait imputable à la quantité élevée d'engrais et de pesticides épandus sur les cultures du site pendant que dans le site d'Ahala, le stress environnemental lié aux activités de remblais du marécage et les travaux de l'autoroute Yaoundé-Douala expliqueraient cet état de choses. Quant au site de Ngoa-ékellé, la faible richesse taxonomique serait due aux fortes charges en matières (organiques et en suspension) provenant des résidences universitaires.

Les résultats montrent que, dans le site d'Ezazou, la richesse taxonomique est composée de 99 espèces/genres réparties en 57 familles et 14 ordres. Par contre, dans le site de Ngoa-ékellé, il a été récolté 64 espèces/genres appartenant à 40 familles et 12 ordres. Dans le site d'Ahala, 74 espèces/genres ont été récoltées, appartenant à 39 familles et 11 ordres. Bien que la famille des Hydrophilidae ait été la plus riche en espèces, celle des Chironomidae a été la plus abondante à tous les sites avec 71,8%, 55,7% et 65,7% d'abondance relative respectivement dans les sites d'Ezazou, de Ngoa-ékellé et d'Ahala. En termes de fréquence d'occurrence, les Chironomidae ont constitué, avec les Belostomatidae et les Hydrophilidae les trois familles omniprésentes dans tous les sites.

Concernant la diversité, elle s'est avérée légèrement plus élevée dans le site d'Ezazou, indiquant ainsi un peuplement plus diversifié et mieux organisé et par ricochet un habitat plus hospitalier contrairement au site de Ngoa-ékellé qui serait le moins diversifié et donc le plus hostile laquelle hostilité serait imputable aux conditions physico-chimiques qui y règnent. L'analyse de la SOM a fait état de ce que certaines familles (Nepidae, Gerridae, Athericidae, Simuliidae, Limoniidae, Culicidae, Tipulidae, Stratiomyidae, Coenagrionidae, Cordulegasteridae, Cordulidae, Hydrophilidae, Spermidae, Baetidae, Caenidae et Hydrobiidae) auraient une affinité pour des eaux relativement riches en nitrates et aux pourcentages d'oxygène moyens tandis que d'autres familles (Notonectidae, Syrphidae, Scatophagidae, Hydrophilidae, Noteridae, Haliplidae, Scirtidae et Hygrobiidae) affectionneraient des eaux ayant des concentrations élevées en azote ammoniacal. En même temps d'autres familles encore (Physidae, Corixidae, Syrphidae, Psychodidae, Sciomyzidae, Elmidae, Hydraenidae, Ameletidae et Lumbricidae) préféreraient des eaux colorées, turbides, alcalines, riches en matières en suspension et en matières organiques oxydables.

Concernant les groupes trophiques, le fait que les filtreurs aient été les plus abondants dans tous les sites traduirait à la base un certain état de pollution généralisé dans ces hydrosystèmes. Le site de Ngoa-ékellé a réscencé les plus fortes abondances et richesses spécifiques de détritivores indiquant ainsi une plus grande charge en matières organiques et une plus grande activité des décomposeurs.

Ainsi donc, parvenus au terme de cette étude, force est de constater que :

- **Concernant l'objectif spécifique 1 : Déterminer les variations spatio-temporelles des paramètres physicochimiques**, il ressort que :
  - 1- Les eaux sont acides à neutres, faiblement minéralisées et moyennement oxygénées. Elles sont également assez chargées en matières azotées avec des valeurs assez élevées d'indicateurs de pollution organique ;
  - 2- la pollution organique serait modérée dans le site d'Ezazou, modérée à forte à Ngoa-ékelle et modérée à faible dans le site d'Ahala ;
  - 3- Sur le plan temporel, on a noté quelques légères différences d'un mois à l'autre et/ou d'une saison à l'autre mais sans significativité.

Ainsi donc, les eaux de ces différents hydrosystèmes sont de mauvaise qualité écologique.

➤ **S'agissant de l'objectif spécifique 2 : Décrire la structure du peuplement de macroinvertébrés qui colonisent ces milieux aquatiques, il s'avère que :**

- 1- Un total de 17158 macroinvertébrés benthiques a été identifié et dénombré, réparti en 3 Embranchements, 6 Classes, 15 Ordres et 65 familles.
- 2- La macrofaune benthique est supplantée par l'embranchement des Arthropodes (84,46 % d'abondance relative), la classe des Insectes (84,34% d'abondance relative) et enfin l'ordre des Diptères (64,8% d'abondance relative).
- 3- Pour les sites, celui d'Ezazou a été le plus prolifique (soit 51,23% d'abondance relative), suivi de celui d'Ahala (soit 32,33% d'abondance relative) et enfin celui de Ngoa-ékellé (soit 16,44% d'abondance relative).
- 4- Les indices de diversité révèlent que le peuplement de macroinvertébrés benthiques est peu diversifié et réparti inégalement dans l'ensemble des sites.
- 5- *Physa* sp., *Chironomus* sp., *Coenagrion pro parte*, *Orthetrum* sp., *Chironomini* nd et *Appasus* sp. peuvent être considérés comme les meilleurs bioindicateurs de leurs milieux.

En somme, la macrofaune benthique est dominée par les groupes polluo-résistants avec un peuplement faiblement diversifié.

➤ **Pour l'objectif spécifique 3 : Evaluer l'impact des facteurs environnementaux sur la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques, il est évident que :**

- 1- Les facteurs environnementaux contrôlant la distribution de la faune aquatique sont principalement les teneurs en nitrates, le pourcentage de saturation en oxygène dissous, les concentrations en azote ammoniacal, la couleur, la turbidité, l'alcalinité et les matières en suspension.
- 2- L'anthropisation environnante impacte plus sur la structure du peuplement en terme de baisse de la diversité, peuplement moins équilibré et résurgence des taxons polluo-résistants.

Fort de ce constat, nous recommandons aux pouvoirs publics de :

- ✚ Veiller davantage au respect de la législation en matière d'occupation des bas-fonds et de la réglementation en matière d'amendement des sols qui les jouxtent;
- ✚ Sensibiliser les populations riveraines sur l'importance de protéger ces hydrosystèmes.

Nous recommandons aux chercheurs d'étendre les études sur d'autres bas-fonds afin de disposer d'une masse importante de données.

A la suite de nos travaux, plusieurs interrogations ont été soulevées à savoir :

- (1) Quels sont les paramètres hydromorphologiques et édaphiques des bas-fonds qui pourraient influencer la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques présents dans ces milieux ?
- (2) En quels termes est-ce que la capacité autoépuratrice des bas-fonds résorbe-t-elle exactement la pollution organique et chimique de ses eaux ?
- (3) Du stress environnemental lié aux travaux infrastructurels et de celui lié à l'épandage des engrais et pesticides sur les cultures, lequel perturbe davantage la diversité des macroinvertébrés benthiques dans les bas-fonds ?

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abessolo J. R. Z., Khebiza M. Y. & Messouli M. (2021).** Réponse des macroinvertébrés benthiques (éphéméroptères, plécoptères, trichoptères) aux pressions anthropiques dans un contexte de changement climatique sur le bassin versant de l'Ourika (Haut-Atlas du Maroc). *Hydroécologie Appliquée*, 21 : 115-155.
- Adandedjan D. (2012).** Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud-Bénin : la Lagune de Porto-novo et la Lagune Côtère. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi-Bénin, Bénin.
- AE (2003).** Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau : grilles d'évaluation. Version 2 du Seq-Eau, Agences de l'Eau, 40 p.
- Aguesse P. (1968).** Les Odonates de l'Europe occidentale, du Nord de l'Afrique et des îles atlantiques. Masson et Cie. 1 : Paris, 258 p.
- Aguilar Ibarra A., Park Y.S., Brosse S., Reyjol Y., Lim P. & Lek S. (2005).** Nested patterns of spatial diversity revealed for fish assemblages in a West European River. *Ecology of Freshwater Fish*, 14: 233-242.
- Ahmed R., Fouda M. & Nahed A. (2015).** Macroinvertebraes fauna of mangrove in South Sinai, Egypt. *International Journal of Advanced Research*, 3 (11) : 1577-1594.
- Ahoussi K. E. & Yapo A. P. (2021).** Étude de la minéralisation des eaux de surface en éléments traces métalliques (ETM) des zones d'orpillage de la sous-préfecture de Kokumbo, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 19(4) : 36-50.
- Ajeegah G.A., Kekeunou S., Njiawouo Pountigni E.N. & Foto Menbohan S. (2014).** Morphologie et abondance des stades de développement d'*Ilyocoris cimicoïdes* Linné 1758 (Heteroptera: Naucoridae) dans un lac anthropisé en zone tropicale (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 79: 6926-6937.
- Ajeegah G. A., Chumtchoua A. L., Mbouombouo M., Foto M. & Njine T. (2016).** Evaluation de l'abondance des kystes des protozoaires flagellés dans les eaux usées exploitées en agriculture maraichère en zone urbaine de Yaoundé (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 107 : 10450-10459.
- Ajeegah G.A., Enah D.A. & Foto Menbohan S. (2016).** Chironomid bio-ecology in an anthropized aquatic ecosystem in Yaoundé (Cameroon): community diversity and relationship with the environmental variables of the water system. *Entomology and Applied Science Letters* 3(5) : 196-203.
- Albrecht C., Föller K., Clewing C., Hauffe T. & Wilke T. (2013).** Invaders versus endemics: alien gastropod species in ancient Lake Ohrid. *Hydrobiologia*, 703: 165-175.

**Aller J & Aller C. (2004).** Physical disturbance creates bacterial dominance of benthic biological communities in tropical deltaic environments of the Gulf of Papua. *Continental Shelf Research* (24) : 2395-2416.

**Alliaume C., Lasserre G. & Louis M. (1990).** Organisation spatiale des peuplements ichthyologiques des herbiers à *Thalassia* du Grand cul-de-Sac Marin en Guadeloupe. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 23: 231-250.

**Amyot C. J. B. & Audinet-Serville J.G. (1843).** Histoire Naturelle des Insectes. Hémiptères. Librairie Encyclopédique de Roret, Paris. 676p.

**Apouamoun Yiagnigni M. (2006).** Hydrologie et transports solides dans un écosystème forestier anthropisé : exemple du bassin versant de la Mefou (Centre-sud Cameroun). *Mémoire de DEA. Université de Yaoundé I.* 52 p.

**APHA (1998).** Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 20th edition, Washington, DC, 1150p.

**Arienzo M., Adamo P., Bianco M.R. & Violante P. (2001).** Impact of land use and urban runoff on the contamination of the Sarno River Basin in Southern Italy. *Water, Air and Soil Pollution*, 131 : 349-366.

**Armitage P.D., Cranston P.S. & Pinder L.C.V. (1995).** *The Chironomidae. Biology and Ecology of non-biting Midges.* Chapman et Hall, Londres, 572 p.

**Baglinière J.L., Gerdeaux D., Médale F., Gascuel D., Le Pape O. & Pont D., (2013).** Les hydrosystèmes, la pêche et l'aquaculture. In «s'adapter au changement climatique : Agriculture, Ecosystèmes et territoires», J.F Soussana (coord.), Editions Quae, Versailles : 141-169.

**Bah A. L., Kabore I., Sangare L. & Barry A. (2025).** Premier inventaire des macroinvertébrés du fleuve Niger à Faranah en Guinée. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 44(4) : 1030-1040.

**Bartholomee O., Lavorel S., Labarraque D. & Gaucherand S. (2018).** Évolution des stocks de carbone en fonction des trajectoires de gestion en zone humide. *Sciences Eaux & Territoires*, 50 :1 – 8.

**Bazin M. (1996).** Integrated water resource management for important deep European lakes and their catchment areas. *Eurolakes*, 1: 30-51p.

**Bernot R.J. & Brandenburg M. (2013).** Freshwater snail vital rates affected by non-lethal concentrations of silver nanoparticles. *Hydrobiologia*, 714: 25-34.

**Billet P. (2000).** La zone inondable : essai de typologie de la délimitation juridique des zones soumises au risque inondation. / The spatial control of flood risks : a legal viewpoint. In: Géocarrefour, 75 (3), 2000. Sur la séquence orageuse de Novembre 1999 :245-254.

**Biram à Ngon E., Foto Menbohan S., Ndjama J., Nyame Mbia D., Mboye B. R. & Ajeegah G. (2018).** Ecological factors and Dictyoptera (Blaberidae) association - benthic macroinvertebrates, in some forest streams in the Centre region of Cameroon. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5 (7) : 234-246.

**Biram A Ngon E.B. (2019).** Etude bioécologique des Dictyoptères aquatiques dans le bassin versant de la Mefou. *Thèse de Doctorat ph/D. Université de Yaoundé I*, 150p.

**Biram A Ngon E., Ndjama J., Chinche S. B., Dzavi J., Nwaha M., Nyame Mbia D. L., Melle Epounde C., Betsi W. C. & Menbohan S. F. (2024).** Ecological influence of organic pollution on the distribution of benthic macroinvertebrates in some control forest watercourses in Cameroon. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2 (2) : 1-5.

**Bode R.W., Novak M.A. & Abele L.E. (1996).** Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York). NYS Department of Environmental Conservation, 89p.

**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, 41p. and 13 appendices.

**Boulinier T., Nichols James D., Sauer John R, Hines James E. & Pollock K.H. (1998).** Estimating species richness : the importance of heterogeneity in species detectability. *esa journal. Ecology*. 79 (3) : 1018-1028.

**Brahimi D., Brahimi A., Rahmouni A. & Mesli L. (2021).** Nouvelles données sur les insectes d'intérêt écologique dans les zones humides, cas des régions arides d'Algérie. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 146(4).

**Brinkhurst R. O. & Jamieson B. G. M. (1971).** *Aquatic Oligochaeta of the World*. Oliver & Boyd, Edinburg, 860 p.

**Brosse S., Giraudel J.L. & Lek S. (2001).** The temporal dynamic of fish population assemblages and community structure. *Ecological Modelling*, 146: 159-166.

**Cabral-Oliveira J., Mendes S., Maranhão P. & Pardal M.A. (2014).** Effects of sewage pollution on the structure of rocky shore macroinvertebrate assemblages. *Hydrobiologia*, 726: 271-283.

**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*, 151p.

**Carrel G., Barthelemy D., Auda Y. & Chessel D. (1986).** Approche graphique de l'analyse en principales normées : utilisation en hydrobiologie. *Acta oecologica oecologia Generalis*, 7 (2) : 189-203.

**Chauvin C., Lepage M. & Hette-Tronquart N. (2021).** Indicateurs biologiques et méthodes d'évaluation pour la directive cadre européenne sur l'eau: un contexte cadré, des approches novatrices, des enjeux essentiels. *Sciences Eaux & Territoires*, (37) : 22-29.

**Cheney K.N., Roy A.H., Smith R. F. & Dewalth R. E. (2019).** Effects of stream temperature and substrate type on emergence patterns of Plecoptera and Trichoptera from Northeastern United States Headwater streams. *Environmental Entomology*, 48 (6) : 1349-1359.

**Chindji M. (2023).** Les inondations dans les bas-fonds de la commune de Yaounde 6 (Centre-Cameroun): Etat des lieux et perspectives. *Espace Géographique et Société Marocaine*, 1(69).

**Cohen J.E. (2003).** Human population: the next half century. *Science*, 302 (5648): 1172-1175.

**Colas F., Archambault V., Féraud J.F., Bouquerel J., Roger M.C. & Devin S. (2013).** Benthic indicators of sediment quality associated with run-of-river reservoirs. *Hydrobiologia*, 703: 149-164.

**Colas F., Vigneron A., Felten V. & Devin S. (2014).** The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment: using macroinvertebrates species under multiple stressors. *Environmental Pollution*, 185 : 24-34.

**Cosandey V. (2023).** Bilan de trois années de captures de Coléoptères aquatiques dans le canton de Genève. *Entomo Helvetica*, 16 : 107-121.

**Couderchet L., Chambaud F. & Catteau S. (2022).** De la reconnaissance des habitats alluviaux à la définition fonctionnelle des zones humides Allers-retours entre les bassins de la Loire et du Rhône. *Dynamiques environnementales. Journal international de géosciences et de l'environnement*, (49-50), 54-84.

**Dajoz R. (2000).** Précis d'Ecologie. 7ème édition, Dunod, Paris, France, 615p.

**Day J.A., Harrison A.D. & De Moor I.J. (2002).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, 9: Diptera. Water Research Commission Report, No. TT 201/02, Pretoria-South Africa, 210p.

**Delville P.L. & Robin J. (2019).** Aménagement de bas-fond, politique de l'aménageur et recompositions foncières. Le cas de Lofing au Burkina Faso. *Cahier d'études et de recherches francophones sur l'Agriculture*. 28 (18), 8p.

**De Moor I.J. & Day J.A. (2002).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, 6: Arachnida & Mollusca. Chapter 3: Mollusca. Water Research Commission Report,

No. TT 182/02, Pretoria-South Africa: 42-125.

**De Moor I.J., Day J.A., & De Moor F.C. (2003a).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, 7: Insecta I. Ephemeroptera, Odonata & Plecoptera. Water Research Commission Report, No. TT 207/03, Pretoria-South Africa, 301 p.

**De Moor I.J., Day J.A. & De Moor F.C. (2003b).** Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, 8: Insecta II. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera & Lepidoptera. Water Research Commission Report, N°. TT 214/03, Pretoria-South Africa, 219 p.

**Dethier M. (1985).** Insectes. 6 : Hétéroptères aquatiques et ripicoles. A.F.L., 44 p.

**Djuikom E., Temgoua E., Jugnia L.B., Nola M. & Baané M. (2009).** Pollution bactériologique des puits d'eau utilisés par les populations dans la Communauté Urbaine de Douala-Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3: 967-978.

**Dolédec S. & Chessel D. (1994).** Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31: 277-294.

**Dufrêne M. & Legendre P. (1997).** Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.

**Durand J. R. & Lévêque C. (1980).** Flore et faune aquatique de l'Afrique Sahélo-Soudanienne. Tome 1. Document Technique 44, Paris, France. 389 p.

**Durand J.R. & Lévêque C. (1991).** Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne. Tome II. Edition de l'ORSTOM, Paris, 517p.

**Dussart B.H. & Defaye D. (1995).** Copepoda: Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the microinvertebrates of the continental waters of the world 7, Dumont H.J. (ed.), S.P.B. The Hague, *Academic Publishing*, 276 p.

**Edia O. E., Brosse S., Ouattara A., Gourène G., Winterton P. & Lek-Ang S. (2007).** Aquatic insect assemblage patterns in four West-African coastal rivers. *Journal of Biological Sciences*, 7: 1130-1138.

**Efendene B. & Riwom S.H. (2000).** Contribution à l'élaboration des normes de rejets d'effluents industriels. *Bioscience Proceeding* 7 : 61-66.

**Enock B. Y. (2017).** Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale : Cas De La Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo). *European Scientific Journal*, 13 : 1857 – 7431.

**Fernandes J.F., de Souza A.L.T. & Tanaka M.O. (2014).** Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? A tropical case study. *Hydrobiologia*, 724 : 175-185.

**Feuillade M. (1972).** Croissance d'*Oscillatoria rubescens* et variations quantitatives de la chlorophylle et des différents caroténoïdes en fonction de l'éclairement. *Information Systems Divisions, National Agricultural Library*, 3 : 21-31.

**Fidji J. K. G., Bolokango G. K., Kinkela P. M. & Mangeye H. K. (2024).** Survie, croissance et comportement social des juvéniles de poisson-chat africain *Clarias gariepinus* dans des systèmes aquaponiques non-cyclés. *Afrique SCIENCE*, 25(5) : 1-17.

**Fisher S.G., Gray L.J., Grimm N. B. & Busch D.E. (1982).** Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding, *Ecological Monograph* : 52: 93-110.

**Foto Menbohan S., Zebaze Togouet S. H., Nyamsi Tchatcho N. L. & T. Njine. (2010).**

Macroinvertébrés du cours d'eau Nga : essai de caractérisation d'un référentiel par les analyses biologiques : *European Journal of Scientific Research* ; 1: 96-106.

**Foto Menbohan. S., Zebaze Togouet S. H., NYAMSI Tchatcho N. L., Ajeegah G.A. & Njine T., (2011).** Evolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun), *European Journal of scientific research*. (2): 291-300.

**Foto Menbohan S. (2012).** Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé): Essai de biotypologie. *Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I*, 179 p. + annexes.

**Foto Menbohan S., Koji E., Ajeegah G.A., Bilong Bilong C.F. & 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: 137-145.

**Foto Menbohan S., Tchakonté S., Ajeegah G.A., Zébazé Togouet S.H., Bilong Bilong C.F. & Njiné T. (2013).** Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2: 91-104.

**Foto Menbohan S, Mboye B.R., Mbega J.D. & Ajeegah G. A. (2017).** Ecological Health of Some Watercourses of the Mabounié River Basin in Gabon: Typology Test by Physicochemical and Hydromorphological Variables. *European Journal of Scientific Research* 148(1) : 93-105.

**Franqueville A. (1984).** Yaoundé, construire une capitale. Orstom éditions. 192 p.

**Garcia-Roger E.M., Sanchez-Montoya M.D.M., Gomez R., Suarez M.L., Vidal-Abarca R., Latron J., Rieradevall M. & Prat N. (2011).** Do seasonal changes in habitat features influence aquatic macroinvertebrate assemblages in perennial versus temporary Mediterranean streams? *Aquatic Sciences*, 73: 567-579.

**Gasparini S. (2004).** Les Copépodes. Observatoire Océanologique de Villefranche, Fiche Technique, Université Pierre et Marie Curie, 10 p.

- Giraudel J.L. & Lek S. (2001).** A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, 146: 329-339.
- Gnoumou S. P. & Sirima D. (2024).** Régime alimentaire de *Bagrus bajad* (FORSKÅL, 1775) dans le lac de barrage de Ziga, Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 43(1) : 206-215.
- Gouton R. R. T., Abahi K. S., Gnohossou P. M. & Akodogbo H. H. (2025).** Évaluation des variations spatio-temporelles de la qualité des eaux de la rivière Okpara au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 19(1): 384-393.
- Grimes S. (2010).** Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte Algérienne: Taxonomie, structure et statut écologique. *Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université d'Oran*, 362p.
- Gueye M. T., Bop D., Sorlini S., Ndoye A. & Gueye O. (2023).** Impacts de la qualité des ressources en eau sur la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac de Technopole et sur les produits agricoles dans cette zone humide de Pikine (Dakar, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1) : 173-191.
- Gwos N.S. R., Foto Menbohan S., Nyame M.D., Betsi W. C. N., Biram A Ngon E. B., Disso E. & Mboye B. R. (2022).** Characterization by benthic macroinvertebrates and some environmental factors of streams in the East Cameroon region. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*. 11(01) : 005–017.
- Hansen M. (1987).** The Hydrophiloidea (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. *Fauna Entomologica Scandinavica*, 18 : 254 p.
- Harissou, Foto Menbohan S., Ajeegah A.G., Ndourwe F. B. & Betsi W.C.N. (2023).** Evaluation by benthic macroinvertebrates of the state of health of some rivers in the south Cameroon region. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*. 14(03) : 001–010.
- Hidermann H. & Seidenbusch R. (2002).** Larve et exuvies des libellules de France et d'Allemagne. 416 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.
- Ichen, A., Messaoudi, C., El Malki, M., & El Mderssa, M. (2021).** Étude diachronique de l'occupation du sol de la zone humide de Dayet Aoua dans le Moyen Atlas au Maroc/A diachronic study of the land uses of the Dayet Aoua wetland in the Middle Atlas in Morocco. *ecologia mediterranea*, 47(1), 107-115.
- Ihaka R. & Gentleman R. (1996).** R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 299-314.

- 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.
- IUCN. (2021).** Identification et validation des zones clés pour la biodiversité des eaux douces d'Afrique Occidentale. Gland Suisse ; 978-2-8317-2163.
- Jabiol J., Lecerf A. Rota T. Guerold F. Danger M., Poupin P. Gilbert F. & Chauvet E. (2020).** Variable temperature effects between heterotrophic stream processes and organisms. *Freshwater Biology*, 00: 1-12.
- Jacobsen R.E. (2008).** A Key to the Pupal Exuviae of the Midges (Diptera: Chironomidae) of Everglades National Park, Florida. Scientific Investigations Report 2008-5082, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 119p.
- Jain S. (2012).** Assessment of water quality at the three Stations of Chambal River. *International Journal of Environmental Sciences*, 3: 881-884.
- Kabore I., Bance V., Ouedraogo O. & Oueda A. (2023).** Utilisation des macroinvertébrés pour la caractérisation de l'état de santé biologiques des réservoirs n 2 de la ville de Ouagadougou et de Ziga au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Development Research*, 13(08) : 63305-63310.
- Kamdem M. S. & Roméo F. D. (2023).** Installation anarchique des habitations et modernisation d'une ville capitale: cas des quartiers, Ekounou et Etam-Bafia à Yaoundé. *Espace Géographique et Société Marocaine*, (1) : 73-74.
- Kayiba I., Nsimanda C., Lubalega T., Nkongolo L. M. Ndoy B. & Christian M. I. (2024).** Analyse physico chimique et microbiologique des eaux de surfaces et souterraines consommées par la population rurale de Matende, secteur Lukamba en République Démocratique du Congo. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique (Revue-IRS)*, 2(5) : 2720-2734.
- Kengne F. J. (2018).** Bio-évaluation des cours d'eau de la région Ouest du Cameroun à l'aide des macroinvertébrés benthiques et construction d'un indice multimétrique régional. *Thèse de Doctorat, Université de Lille-Université de Yaoundé I*, 174 P + annexes.
- Kiviluoto K. (1996).** Topology preservation in Self-Organizing Maps. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, October 1996. IEEE Service Center, New York: 294-299.
- Kohonen T. (2001).** Self-Organizing Maps (3rd Edition). Springer-Verlag, Berlin, Germany, 501p.

- Kolka R. K., Murdiyarso D., Kauffman J. B & Birdsey R. A. (2016)** Tropical wetlands, climate, and land-use change: adaptation and mitigation opportunities. *Wetland Ecology and Management*, 24 (2) : 107 – 112.
- Koné N., Boguhé H., N'da A. S., Kien K. B. & Berté S. (2022).** Caractérisation physico-chimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique de Kossou, fleuve Bandama, Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 39 (2022) : 55-69.
- Kono L. D., Mbarga B. M. A., Angoni H., Biye E. H & Endanga D. G. H. (2015):** Allocation de carbone des peuplements de *Cyperus papyrus* L.(Cyperaceae) dans les zones humides forestières : cas de la zone urbaine et péri-urbaine de Yaoundé (Cameroun). *Revue. d'Ecologie (Terre Vie)*, 70.
- Kono L.D., Essono D. M., Ambombo M.E.Mbarga B.M.A & Biye E. H. (2020).** Influence des facteurs biotopiques sur les stocks de carbone des marécages à herbacées de la ville de Yaoundé (Cameroun) et ses environs. *Afrique Science*, 16 (6) : 1-13. ISSN 1813-548X.
- Kouadio K.N. (2011).** Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des lagunes de Côte d'Ivoire: Aby, Ebrié et Grand-Lahou. *Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire*, 162p.
- Kouyaté, A. M., Tangara, B., Dembele, U., Fusillier, J. L., & Lidon, B. (2022).** Valorisation agricole et aménagement des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. Diagnostic des ressources, de la mise en valeur et des options d'aménagement des bas-fonds. Rapport Mali. 2022. Thèse de doctorat. COSTEA.
- Labat F. (2021).** Le macrobenthos du bassin de la Dordogne. 6ème note: la rivière Dordogne et quelques affluents, Diptères aquatiques et semi-aquatiques (à l'exclusion des Chironomidae et Ceratopogonidae)[Diptera]. *Ephemera*, 22(2) : 95-112.
- Langton P.H. (1991).** A key to pupal exuviae of West Palaearctic Chironomidae. *Ph.D Thesis, The Natural History Museum, London, England*, 400p.
- Le Borgne H. & Bouget C. (2024).** La reconnaissance des espèces basée sur l'ADN: applications, perspectives et défis en milieu continental terrestre. *Naturae*, 2024(3) : 31-67.
- 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*, 159p.
- Leclercq L. (2001).** Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, Document de travail, 44p.
- Legendre L. & Legendre P. (1979).** Ecologie Numérique. Masson (Eds), Paris (France), 1-2, 247p.

- Le Hingrat L. & Boileau N. (2021).** Réponses des macro-invertébrés et des poissons à la restauration de la continuité écologique sur deux cours d'eau de plaine de l'ouest de la France. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France (NS)*, 43(1-2) : 27-47.
- Lek S., Giraudel J.L. & Guégan J.F. (2000).** Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists. In: Lek S. & Guégan J.F. (Eds.): *Artificial Neuronal Networks: Application to Ecology and Evolution*. Springer - Verlag, Berlin: 3-27.
- Lévêque C. & Balian E.V. (2005).** Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream? *Hydrobiologia*, 542: 25-26.
- Lewin I., Czerniawska-Kusza I., Szoszkiewicz K., Ławniczak A.E. & Jusik S. (2013).** Biological indices applied to benthic macroinvertebrates at reference conditions of mountain streams in two ecoregions (Poland, the Slovak Republic). *Hydrobiologia*, 709: 183-200.
- Maiga, Y., Sanou, K., & Pawendkigou, I. (2023).** Analyse de la dynamique des stratégies d'occupation foncière dans les bas-fonds au Burkina Faso à l'ombre de la mise en œuvre des Politiques d'Ajustement Structurel (PAS) dans le secteur agricole: Une synthèse bibliographique. *Ziglôbitha*, 8 : 573-588.
- Mboye B.R. (2019).** Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon): Essai de typologie. *Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I*. 214p.
- Mediebou C. (2023).** Saturation foncière et occupation des zones marginales dans la Commune de YAOUNDÉ VI (Centre-Cameroun). *Espace Géographique et Société Marocaine*, 1 :73-74.
- Messoe A. W., Acha A. Y. & Ajeegah A. G. (2022).** Dynamique d'abondance des odonates dans le cours d'eau Nyamessamba recevant les influents agro-industriel Société des Hévées du Cameroun-HEVECAM (Nieté-Sud Cameroun). *Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences*, 30 (2) : 134-144.
- Micheau, F., Porteret, J., & Saillard, J. (2023).** Protéger et gérer les zones humides pour s'adapter et atténuer les effets du changement climatique sur le grand cycle de l'eau, une action des Conservatoires d'espaces naturels. In *Annales des Mines-Responsabilité & environnement* 112 (4) : 99-103. Institut Mines-Télécom.
- 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.
- Moanono P. (2022).** Structure et biotypologie des macroinvertébrés benthiques de quelques mangroves de la côte du littoral Camerounais : influence des facteurs environnementaux. *Thèse de Doctorat/PhD, Université de Yaoundé I*, 177 p.

- Moisan J. (2006).** Guide d'identification des principaux Macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours peu profonds. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN-10 : 2-550-48518-1 (PDF). 82 p.
- Moisan J. (2010).** Guide d'identification des principaux Macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours peu profonds. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN- 13 : 978-2-550-58416-2, 82p.
- Moisan J. & Pelletier L. (2008).** Guide de surveillance biologique basé 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, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.
- Mouchili, I. N. & Mougoué B. (2023).** Causes de la Prolifération des Quartiers à Habitat Précaire à Yaoundé. *European Scientific Journal, ESJ*, (19) : 14-55.
- Mougoué B. & Laurentine N. E. (2021).** Croissance de la ville de Yaoundé et résiliences aux pandémies. *Espace Géographique et Société Marocaine*, (43-44).
- Mouton J. (1982).** Les mollusques dulcicoles. *Bulletin français de pisciculture*, numéro spécial, 27 p.
- Mudekereza A. N., Lina A. A. & Shabani E. (2023).** Evaluation de la qualité de l'eau de la rivière Nyamuhinga avec deux indices biotiques au niveau de la famille des macroinvertébrés benthiques. *Parlons Terre et Biodiversité*, 1(02).
- Muliele T. M., Manzenza C. M., Ekuke L. W., Diaka C. P., Ndikubwayo D. M., Kapalay O. M. & Mundele A. N. (2018).** Utilisation et gestion des pesticides en cultures maraîchères : cas de la zone de Nkolo dans la province du Kongo Central, République démocratique du Congo, *Journal of Applied Biosciences*, 119 (1) :11954-11972.
- Nahmani J. & Rossi J.-P. (2003).** Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *Comptes Rendus de Biologies*, 326: 295-303.
- N'da S. (2024).** Influence du réchauffement climatique sur les cycles biogéochimiques des nutriments dans les eaux de surface: cas du dioxyde de carbone, de l'azote et du phosphore. *Sciences des Structures et de la Matière*, 7(2).
- Ndam I., Rose M. C., Pasma N. K. & Moïse M. (2023).** Accessibilité des femmes à la propriété foncière et développement agricole de Baïgom (Ouest-Cameroun). *African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences*, 6(1) : 129-145.
- Ndourwe F. B., Edioh P. F., Kengne F. L. P., Mogue K. G., Betsi N.C.W., Gwos N. S. R., Foto M. S., Zebaze T. S. (2025).** Macroinvertebrates and water quality as a tool to the ecological

study of three forest streams in the littoral zone (Cameroon). *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 25 (1) : 1722-1734.

**Ngambi J. R. (2015).** Déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé (Cameroun). De la gestion linéaire vers une économie circulaire. *Thèse présentée à l'Université Nantes Angers Le Mans*. 491p.

**Nguendo Y. & Lutumba N. (2006).** L'occupation et l'aménagement des espaces à risque en milieu urbain équatorial : le cas des fonds de vallées à Yaoundé (Cameroun). *Organisations et territoires* ; 15 (3) -Automne 2006 : 67-75.

**Nisbet M., & Vernaux J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, 6 (2) :161-190.

**Nolte U. (1993).** Egg masses of Chironomidae (Diptera). A review, including new observations and a preliminary key. *Entomologica Scandinavica Supplement*, 43: 1-75.

**Nwaha M., Foto Menbohan S., Nyame Mbia D., Biram à Ngon E. & Temgoua Z. M. A. (2022).** Water quality assessment of some forest streams in the south region of Cameroon. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 5 (2) : 1292-1302.

**Nwaha M. (2023).** Influence de quelques facteurs environnementaux sur la distribution des macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau de la région du Sud-Cameroun. *Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I*. 186p.

**Nyamsi Tchatcho N.L., Foto Menbohan S., Zébazé Togouet S.H., Onana Fils M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yémélé Tsago C., Koji E. & Njiné T. (2014).** Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) pour l'évaluation biologique de la qualité des eaux des cours d'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123: 412-430.

**Obougou T. A. E., Ateba F. Y., Mindongo D. N., Mboudou G.E., Bon A. F. & Ombolo A. (2024).** Caractérisations hydrochimique et biologique des eaux souterraines pendant la saison pluvieuse en zone urbanisée des quartiers Ekombite et New-bell, Ebolowa-Cameroun. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique et de l'Innovation*, 2 (6) : 1186-1211.

**OMS (2011).** Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, 4th edition. WHO Press, 564p.

**PANGIRE. (2009).** Etat des lieux du secteur, connaissance et usages des ressources en eau. Ministère de l'eau et de l'énergie, Cameroun. Global Water Partnership. 199p.

**Park Y.S., Céréghino R., Compin A. & Lek S. (2003).** Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 265-280.

- Pateuck D. D. & Gideon A.A. (2024).** Impacts de quelques paramètres physico-chimiques sur la distribution des macroinvertébrés benthiques dans le lac carrière de Ngoa-ékele. *Universal Journal of Life and Environmental Sciences*, 6 (1) : 31-45.
- Philippeau G. (1992).** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. Service des Etudes Statistiques – ITCF, 63p.
- Pielou E. C. (1966).** The measurement of diversity in different type of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Poisson R. (1951).** Hétéroptères in Grassé : « Traité de Zoologie » t. 10, Masson ed., Paris : 1657-1803.
- Pôllabauer C. & Bargier N. (2004).** Etude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la doline de l'usine pilote, du Déversoir et du Creek de la Baie Nord. *Erbio*, Nouméa.
- Porse E.C. (2013).** Stormwater Governance and Future Cities. *Water*, 5 : 29-52.
- Rakoto N. G., Andrianaivomanana N. S. Nasimiharintsoa H. T., Rajerison W. A., Rafenomanantsoa A. & Rasolofoniaina R. (2023).** Variabilité spatiale de la qualité des eaux agricoles d'un bassin versant de deux arrondissements d'Antananarivo (Madagascar). *Environnement, Ingénierie & Développement*, 88.
- RAMSAR. (1971) :** Secrétariat de la convention de Ramsar. Le manuel de la convention de Ramsar : Guide de la convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971). 4<sup>e</sup> édition. Secrétariat de la convention de Ramsar, Gland, Suisse.
- Rios S.L. & Bailey R.C. (2006).** Relationships between riparian vegetation and stream benthic communities at three spatial scales. *Hydrobiologia*, 553: 153-160.
- Reid D.J., Lake P.S. & 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.
- Requier-Desjardins, M., Chazée, L., Khechimi, W., Anougmar, S., & Garrabé M. (2021).** Les services écosystémiques culturels rendus par les zones humides protégées en Méditerranée: élaboration d'un indicateur de suivi. *Natures Sciences Sociétés*, 29(4), 423-438.
- Rodier J. (1996).** L'analyse de l'eau. 8e édition, Dunod, Paris, 1384 p.
- Rodier J., Legube B., Marlet N. & Brunet R. (2009).** L'analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris, France, 1579p.
- Saley A. K. H., Sandao I., Dossou P. D. L., Adamou M. & Idrissa M. (2025).** Etude de la qualité des eaux de la nappe alluviale dans la partie nord du dollol Bosso: Départements de

Balleyara et de Filingué. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 19(1) : 367-383.

**Sanogo S., Compaoré I., Senou I., Somda M. B., Ouédraogo R. B., Ouattara B. & Kabré T. A. (2021).** Etude comparée de la structuration des macroinvertébrés benthiques de cours d'eau urbain et péri-urbain à l'ouest du Burkina Faso. *International Journal of Development Research*, 11(01) : 43173-43184.

**Seraphin W. A., Gnamien T. S., Habib K. Y. & Tana A. (2024).** Niveau de contamination physico-chimique et bactériologique des eaux du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 193 : 20513-20524.

**Sifa D. B. K. M., Nzadi P. L. & Mayala B. N. K. (2024).** Impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Tshuenge localisée à l'Est de Kinshasa/RD Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(3) : 1115-1127.

**Silga R. P., Ouedraogo I., Kabore I., Sirima D., Mano K., Bance V., ... & Gneme A. (2022).** Évaluation de la qualité des eaux de surface basée sur les paramètres physico-chimique des eaux et les macroinvertébrés: cas du réservoir de Loumbila. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 41(2) : 57-73.

**Shannon C. E. & Weaver W. (1949).** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 117p.

**Sorensen T.A. (1948).** A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske skrifter*, 5 :1-34.

**StatSoft France (2005).** STATISTICA (logiciel d'analyse de données), version 7.1. [www.statsoft.fr](http://www.statsoft.fr)

**Stevens A. L., Siaka B. & Naminata K. (2022).** Qualité des eaux de petits barrages du nord et centre de la Côte d'Ivoire à partir des macroinvertébrés aquatiques. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 35(4) : 523-533.

**Stroud D. A., Davidson N. C., Finlayson C. M. & Gardner R. C. (2022).** Development of the text of the Ramsar Convention: 1965–1971. *Marine and Freshwater Research*, 73(10) : 1107-1126.

**Suchel J.B. (1986).** La répartition des pluies et des régions pluviométriques au Cameroun. CEGCNRS. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale*, 5:1-1288 .

**Suchel B. (1987).** Les climats du Cameroun, *thèse de Doctorat d'Etat*. 4 tomes, *Université de Bordeaux III*. 186 p.

- Tabellenkou L. S. M., Dick B. A., Sidi Y. M. H., Oumar M. B., Hanan M. E. E., Boullah M. A., ... & Fekhaoui M. (2022).** Analyse physico-chimique de l'eau distribuée à la ville de Nouakchott. *Proceeding des JIC2021-Proceeding of the JIC2021*, 3 : 64-67.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2010).** Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, France, 588 p.
- Tanawa E., Djeuda Tchpnga H. B., Ngnikam E., Temgoua E. & Siakeu J. (2002).** Habitat and protection of water resources in suburban areas in Africa cities. *Building and Environment*, 37: 269-275.
- Tangmouo, F. T., Foukou, S. N. M., Nfong-Ya, O. L. M., & Windzi, S. L. F. (2025).** Cartographie du potentiel de bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le Bassin versant de la Menoua (Cameroun) Article in Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture• March 2025. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 8(1) :156-168.
- Taylor B.R. & Chauvet E.E. (2014).** Relative influence of shredders and fungi on leaf litter decomposition along a river altitudinal gradient. *Hydrobiologia*, 721: 239-250.
- Tchakonté S., Ajeegah G., Camara A.I. ; Nyamsi Tchatcho N.L. & Ngasssam 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. *Hydrobiologia*, 749, 23p.
- Tchakonté S. (2016).** Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). *Thèse de Doctorat/phD, Université de Yaoundé I*, 205 p.
- Temgoua E., Bitom B., Djeuda T. H. B. & 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*, 26 p.
- Temgoua N. Y. & Mengue Y. W. (2022).** Quantifier la dynamique des sols à usage agricole dans la ville de Yaoundé (Cameroun). *Espaces Africains (Revue des Sciences Sociales)*, 1(01) : 124-149.
- Temple, L., Marquis S., David O. & Simon S. (2008).** Le maraîchage périurbain à Yaoundé est-il un système de production localisé innovant ?, *Revue Economies et Sociétés*, 30: 2209-2238.
- Thiele, J.H. (1928).** Revision des Systems der Hydrobiiden und Melaniiden. *Ibid.* 55 : 351-402.
- Touzin D. (2008).** Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval, 32 p.
- Traore A., Grogua N., Kouadio A. D., Gneba L. R. O. & Kouame K. M. (2025).** Évaluation de l'effet de l'apport des aliments exogènes sur la prolifération du zooplancton d'une ferme rizipiscicole de Bonoufla, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 26(4) : 28-45.

**Trevisan, D., Janin, C., Taillandier, P., & Sarrazin, B. (2022).** PSDR4 TIP TOP-Un outil sur les paysages agricoles, l'eau et la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques*, 86 : 123-136.

**Vasselon V., Rimet F., Domaizon I., Monnier O., Reyjol Y. & Bouchez A. (2025).** Évaluer la pollution des milieux aquatiques avec l'ADN des diatomées: où en sommes-nous? Evaluate the pollution of aquatic environments with diatom DNA: were do we stand?. *Milieux*, 27 : 3p.

**Villéger S. (2008).** Dynamique de la diversité fonctionnelle des communautés de poissons (Lagune de Terminos, Mexique). *Thèse de Doctorat, Centre International d'Études Supérieures en Sciences Agronomiques, Université Montpellier II*, 332p.

**Villeneuve B., Valette L., Ferréol M., Souchon Y., Usseglio-Polatera P. & Stroffek S. (2021).** Réponse des indicateurs biotiques de cours d'eau aux pressions et extrapolation de l'état biologique aux masses d'eau non suivies. *Sciences Eaux & Territoires*, (37) : 38-43.

**Wang B., Liu D., Liu S., Zhang Y., Lu D. & 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. & 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.H. (1963).** Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58: 1-236.

**Wéthé J., Radoux M. & Tanawa E. (2003).** Assainissement des eaux usées et risques sociosanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *Revue en Science de l'Environnement*, 5 (4) : 23 - 25.

**Williams W.T., Lance G.N., Dale M.B. & Clifford H.T. (1971).** Controversy concerning the criteria for taxonomic strategies. *Computer Journal*, 14: 1-162.

**Xu M., Wang Z., Duan X. & Pan B. (2013).** Effects of pollution on macroinvertebrates and water quality bio-assessment. *Hydrobiologia*, 703: 176-189.

**Yanogo, P., & Yaya, M. (2023).** Exploitation de bas-fonds dans la commune rurale de kyon: entre diversification, recomposition des systèmes de cultures et organisation sociale du travail. *Journal de Géographie Rurale Appliquée et Développement*, 4(001) : 25-39.

**Yéo K. M., Kouadio A. N. B. & Goné D. L. (2023).** Evaluation de la qualité des eaux de forages et de puits destinées à la consommation humaine: Approches d'analyses multivariées. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 40(4) : 1299-1311.

**Yongue-Fouateu R. (1986).** Contribution à l'étude pétrographique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatiques de la région de Yaoundé. *Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I*, 214 p.

**Zerrouk M., Dakki M., Bennis N., El Agbani M. A., El Alami M., Ghamizi M., ... & Himmi, O. (2021).** Nouvelles données sur les macroinvertébrés du bassin versant du Haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc): Insectes, mollusques et crustacés. *Boletín de la SEA*, (69) : 29-44.

## **ANNEXES**

**Annexe 1 : Valeur maximale, minimale, moyenne et écart-type des paramètres physico-chimiques mesurés pendant la période d'étude.**

Sites		T (°C)	PH (UC)	Cond (µS/cm)	MES (mg/L)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Oxyd (mg/L)	Alca (mg/L)	Turb (FTU)	Coul (Pt- Co)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)
<b>Ezazou</b>	Maximum	26,7	9,51	330	59	86,7	7,04	0,95	412	1,9	0,23	14,02	80	51	433	416
	Minimum	21,2	5,8	120	1	60	0	0	0,96	0,06	0	0	2	3	0	0
	Moyenne	24,35	8,04	186,35	19,43	69	4,11	0,16	21,67	0,87	0,06	2,74	14,9	19,35	181	31,85
	Ecart-type	0,27	0,14	15,23	5,05	2,03	0,07	0,03	17,98	0,3	0,01	0,68	2,08	6,3	52,02	17,89
<b>Ngoa- ékellé</b>	Maximum	29,5	9,53	620	371	86	15,84	2,1	32	1,74	0,57	19,36	140	295	542	498
	Minimum	23,1	6	220	0	51	1,6	0	0,12	0	0	0	2	1	0	0
	Moyenne	26,31	8,43	334,61	35,66	62,24	6,44	0,24	5,36	0,36	0,09	3,5	28,58	32,44	238,83	26,98
	Ecart-type	0,98	0,07	85,41	18,72	3,6	0,66	0,11	0,74	0,21	0,05	0,69	8,81	17,83	49,7	22,06
<b>Ahala</b>	Maximum	29,4	9,89	570	50	78	19,36	0,71	14,07	2,3	1,4	14,81	70	73	678	630
	Minimum	22,6	5,76	60	0	60	0	0	0,12	0	0	0	2	2	9	0
	Moyenne	25,88	6,82	214,04	20	66,06	6,19	0,17	3,42	0,14	0,05	3,35	18,25	22,79	224,58	36,52
	Ecart-type	0,29	0,14	90,84	6	1	3,87	0,04	1,03	0,14	0,05	1,14	6,02	8,32	94,55	23

## Annexe 2 : Inventaire floristique des stations d'échantillonnage

SITE	STATIONS	Espèces	Familles	Observations
EZAZOU	Od 1	<i>Commelina benghalensis</i>	Commelinaceae	Plus représentée
		<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Présence minoritaire
	Od 2	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Plus représentée
		<i>Commelina benghalensis</i>	Commelinaceae	Présence minoritaire
	Od 3	<i>Alternanthera sessilis</i>	Amaranthaceae	Plus représenté
		<i>Commelina benghalensis</i>	Commelinaceae	Présence minoritaire
	Od 4	<i>Costus afer</i>	Costaceae	Plus représentée
		<i>Alchonea cordifolia</i>	Euphorbiaceae	Présence
AHALA	Mfo 1	<i>Cyperus esculentus</i>	Cyperaceae	Plus représentée
		<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Présence minoritaire
	Mfo 2	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Plus représenté
		<i>Alchonea cordifolia</i>	Euphorbiaceae	Présence
		<i>Chromolaena odorata</i>	Asteraceae	Minoritaire
	Mfo 3	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Plus représentée
		<i>Commelina benghalensis</i>	Commelinaceae	Minoritaire
	Mfo 4	<i>Ipomea aquatica</i>	Convolvulaceae	Plus représentée
		<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Présence
		<i>Persicaria sp</i>	Polygonaceae	Peu Présent
NGOA-EKELLE	Ole 1	<i>Ipomea aquatica</i>	Convolvulaceae	Plus représentée
		<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Minoritaire
	Ole 2	<i>Ipomea aquatica</i>	Convolvulaceae	Plus représentée
		<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	Minoritaire
	Ole 3	<i>Tithonia diversifolia</i>	Asteraceae	Plus représentée
	Ole 4	<i>Ipomea aquatica</i>	Convolvulaceae	Plus représentée

### Annexe 3 : Récapitulatif des corrélations

	Temp	pH	Cond	Diox	MES	Coul	Turb	Alca	Oxyd	CO2	Nitri	Belos	Chiro	Coena	Tubif
Temp	1														
pH	,929**	1													
Cond	,976**	,976**	1												
Diox	-,714*			1											
MES	,810*	,738*	,833*		1										
Coul	,881**	,833*	,905**		,976**	1									
Turb	,714*		,738*		,857**	,833*	1								
Alca	,929**	,905**	,952**	-,810*	,833*	,857**		1							
Oxyd	,833*	,738*	,810*		,762*	,857**			1						
CO2	,762*	,833*	,810*					,881**		1					
NH4											-,714*				
Belos	-,786*	-,786*	-,810*					-,714*	-,738*			1			
Chiro						-,714*			-,762*				1		
Coena	-,898**	-,838**	-,898**	,874**	-,731*	-,802*		-,898**	-,731*	-,766*		,898**		1	
Libe	-,830*	-,781*	-,830*	,903**				-,903**		-,854**	,708*	,781*		,957**	
Hydro									-,723*						
Tubif							,749*								1
Physi									,857*				-,893**		
Sphaeri											,733*				,731*

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

## PUBLICATION SCIENTIFIQUE

**Melle Epounde A. C., Foto Menbohan S., Nwaha M., Moanono P., Biram A Ngon E., Mbohhou Z., (2023).** Water Quality of a Lowland and an Urban Stream by Analyzing the Structure of Benthic Macroinvertebrates Population. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 6 (1) : 348-361.

# Water Quality of a Lowland and An Urban Stream by Analyzing the Structure of the Benthic Macroinvertebrates Population

Melle Epounde A.C.<sup>1</sup>, FotoMenbohan S.<sup>2</sup>, Nwaha M.<sup>3</sup>, Moanono P.<sup>4</sup>, Biram A Ngon E.<sup>5</sup>, Mbohhou Z.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: amelleepounde@yahoo.fr

<sup>2</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: sfotomenbohan@yahoo.com

<sup>3</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: mathiasnwhah93@gmail.com

<sup>4</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: patrickmoanono@gmail.com

<sup>5</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: birame.eric@yahoo.fr

<sup>6</sup>Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: zakarinjoya882@gmail.com

\*\*\*\*\*

## Abstract:

A study was carried out with the mean aim to compare the water of a lowland of Ezazou with that of an urban stream of Bonamoussadi, based on the physico-chemical analysis and the structure of benthic macroinvertebrates. The physico-chemical analysis revealed that the water of the Ezazou lowland is more oxygenated ( $O_2 = 25.7 \pm 7.29 \%$ ) and loaded with nitrates ( $NO_3^- = 21.67 \pm 17.98 \text{ mg/L}$ ) and nitrites ( $NO_2^- = 0.87 \pm 0.3 \text{ mg/L}$ ) than the water of the Bonamoussadi stream ( $O_2 = 21.85 \pm 10.96 \%$ ;  $NO_3^- = 5.36 \pm 0.74 \text{ mg/L}$ ;  $NO_2^- = 0.36 \pm 0.21 \text{ mg/L}$ ). In addition, the water of the Bonamoussadi stream is higher in suspended solids ( $SS = 35.66 \pm 18.72 \text{ mg/L}$ ) with higher pH ( $pH = 8.43 \pm 0.07 \text{ CU}$ ) than the water of the Ezazou lowland ( $SS = 19.43 \pm 5.05 \text{ mg/L}$ ;  $pH = 8.04 \pm 0.14 \text{ CU}$ ). Concerning benthic macroinvertebrates, the population of the Ezazou lowland is composed of 3 phyla, 6 classes, 12 orders and 59 families, while that of the Bonamoussadi stream includes 3 phyla, 5 classes, 10 orders and 42 families.

Keywords: **lowland, urban stream, physico-chemical analysis, benthic macroinvertebrates, Yaounde**

\*\*\*\*\*

## I. INTRODUCTION

The demographic growth of metropolitan areas due to natural population increase and massive rural exodus has led to anarchic occupation of urban space and high pressure on natural resources [40]. In addition, the increasingly recurrent poverty in certain developing countries is at the origin of the anarchic occupation of areas that are not very suitable, such as lowlands and the banks of urban

streams, which are nevertheless classified as off-limits [19]. Moreover, the poor management of waste from human activities causes the degradation of the quality of the water in these areas, which is used for irrigation of vegetables and for various domestic activities [10]. The concern to assess the water quality of these aquatic ecosystems and the impact of pollution on them has long motivated several studies and the results revealed that all these pressures lead to a degradation of water and habitat

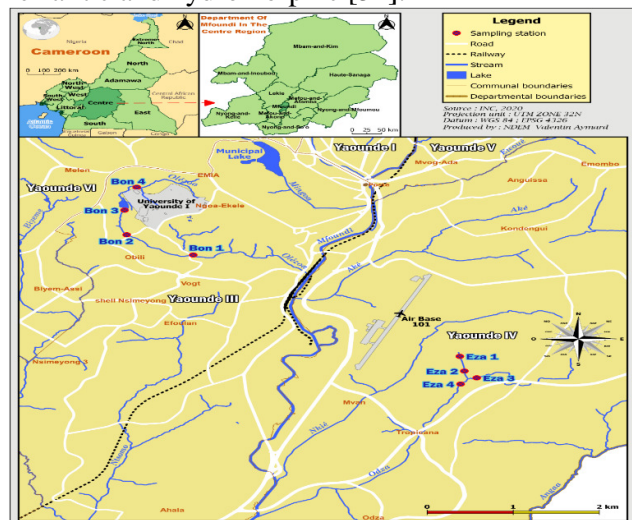
quality [3] as well as an alteration of the composition of biological communities, more particularly the reduction of biological diversity in the aquatic ecosystem [7]. The objective of the present study is to compare the water quality of a lowland in Ezazou with that of an urban stream in Bonamoussadi using the structure of the benthic macroinvertebrates population, which are bioindicator organisms of the ecological quality of aquatic environments. The choice of benthic macroinvertebrates is justified by their sedentary nature, their varied life cycle, their large taxonomic diversity, their power of bioaccumulation and bioconcentration and above all their variable tolerance to pollution and habitat degradation [37]. Indeed, benthic macroinvertebrates are persistent and integrate physico-chemical variation. They can thus bear witness to pollution that is more or less toxic, old, acute or chronic. This ability to integrate the cumulative and synergistic effects of various types of disturbances with subtlety makes them the tools of choice for assessing water quality [37].

In Cameroon, and more particularly in Yaounde, several studies have been carried out on the assessment of the state of aquatic ecosystems health and their biodiversity [21]; [22]; [23]; [2]. These studies reveal that the physico-chemical of water and their biodiversity are closely linked to the type and intensity of pollution to which they are subjected. The Ezazou lowland is subject to pollution from agricultural inputs due to the intense agricultural activity practised, while the Bonamoussadi stream is subject to pollution from household waste and from the toilets of the student housing estates. These different types of pollution have an impact on the physico-chemical parameters of the water and structure of biodiversity of each of these sites in a particular way. However, no comparative study has been carried out in this respect. Furthermore, few studies has been carried out at the same time on a stream and in a lowland, under the same conditions, using the same techniques sampling and analysis based on the same organisms as the benthic macroinvertebrates. It is in this perspective that the present study is carried out.

## II. MATERIAL AND METHODS

### Study area

This study was carried out in two localities in the city of Yaounde, Ezazou and Bonamoussadi. Yaounde is located in the Centre region and the Mfoundi division, between  $3^{\circ}30'-3^{\circ}58'$  North latitude and  $11^{\circ}20'-11^{\circ}40'$  East longitude at an altitude of about 750 m [4]. The city is characterized with an equatorial forest climate with four-season [36]. The hydrographic network is mainly made up of the Mfoundi and its tributaries. The soils are derived from a more or less micaceous quartzo-feldspathic material and are of two types: ferrallitic and hydromorphic [32].



**Figure 1:** Sampling stations in different streams in Mfoundi department, modified.

Ezazou is a sub urban area on the outskirts of Yaounde located in the council of Yaounde IV. The lowland of Ezazou is criss-crossed by the streams of Nkie, Odza and Missole. This lowland is characterised by agricultural activities with the main plants being *Amaranthusviridis* (amaranth or folon), *Apiumgraveolens* (celery), *Lactucasativas* (lettuce), *Ocimumbasilicum* (basil) and *Solanumnigrum* (nightshade or zom). To improve crop, farmers use pesticides and chemical fertilisers including Agrovert, Cyperfresh, Foligad, N-force plus and Cypercot as well as natural fertilisers such as chicken droppings.

Bonamoussadi is an area in the Ngoa-ekelle district, located in the council of Yaounde III. The

Olezoa stream that watered this area flows through the University residences and receives wastewater from the surrounding latrines, car washes and garages.

Thus, taking into account accessibility, the nature of the pollution and the intensity of anthropogenic activities, 4 sampling stations designated Eza 1, Eza 2, Eza 3 and Eza 4 were chosen in the Ezazou lowland and 4 other stations designated Bon 1, Bon 2, Bon 3 and Bon 4 in the Bonamoussadi stream (Fig. 1)

## **II.2 Sampling**

Water and benthic macroinvertebrate sampling took place from July 2019 to July 2020 at a monthly frequency.

### **II.2.1. Physico-chemical parameters**

Physico-chemical parameters were measured in the field and in the laboratory using Rodier's techniques [35]. In the field, parameters such as temperature (°C), pH (UC), electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and dissolved oxygen (%) were measured using HANNA HI 98130 multimeter.

For the measurements to be carried out in the laboratory, the water samples were taken at each sampling station using double-capped polyethylene bottles without bubbles and transported in a cool shielded cell. Parameters such as suspended solids, orthophosphates and nitrogen forms were determined spectrophotometrically using a Palintest Photometer 7500 Wagtech and the results expressed in mg/L.

### **II.2.2. Benthic macroinvertebrates**

Sampling of benthic macroinvertebrates was carried out using the multi-habitat approach, using a 30 cm square net with a 400  $\mu\text{m}$  conical mesh opening and a depth of 50 cm [29]. At each station, about twenty dip net strokes were made over a length of about 50 cm, equivalent to an approximate area of 3 m<sup>2</sup> [39]. The organisms retained by the mesh of the net were collected with fine tweezers and then gently introduced into pillboxes containing a 10% formalin solution.

In the laboratory, the collected organisms were washed with running water using sieve and then identified with a binocular magnifying glass with episcopic illumination, brand WILD M3B and

BRESSER HG 878513, using the identification keys and books proposed by [15], [11], [24], [13], [28] and [37].

### **II.2.3. Data analysis**

The Kruskal-Wallis test was used to determine the significance level of differences in abiotic parameters, taxonomic richness and diversity indices. Sorensen's Similarity Coefficient S was used to calculate the similarity rate of the benthic macroinvertebrate communities of the stations taken 2 by 2. Biocenotic indices such as Shannon and Weaver index, Simpson index, and Pielou equitability were used to analyse the structure of the macroinvertebrate population. Spearman's rank correlation coefficient was calculated to measure the degree of linkage between abiotic variables on the one hand and between abiotic and biological variables on the other. Hierarchical clustering analysis (HCA) was used to group the stations according to their abiotic similarity. Principal component analysis (PCA) was used to establish an abiotic typology of the stations on the basis of all the environmental parameters measured. Kohonen's self-organising map was used to establish the biotypology of the stations on the basis of the taxa abundance matrix.

## **III. RESULTS**

### **III.1 Physico-chemical parameters**

#### **III.1.1. Temperature**

In the lowlands of Ezazou, the temperature varied between 21.2°C (Eza 2 in December) and 26.7°C (Eza 3 in June) with an average of  $24.35 \pm 0.27^\circ\text{C}$ , and between 23.1°C (Bon 3 in August) and 29.5°C (Bon 4 in January and February) in the Bonamoussadi stream with an average of  $26.31 \pm 0.98^\circ\text{C}$  (Fig.2A). The analysis of the values shows that the temperature is significantly higher in the Bonamoussadi stream than in the Ezazou lowland ( $P < 0.05$ ).

#### **III.1.2 pH**

The pH of the water in the Ezazou lowland varied between 5.8 CU (Eza 1 in February) and 9.51 CU (Eza 2 in November) with an average of  $8.04 \pm 0.14$  CU, and between 6 CU (Bon 1 in February) and 9.53 CU (Bon 4 in November) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $8.43 \pm 0.07$  CU (Fig.

2B). The analysis of the values shows that the pH is significantly higher in the Bonamoussadi stream compared to the Ezazou lowland ( $p < 0.005$ ).

### III.1.3. Electrical conductivity

The electrical conductivity of the water of the Ezazou lowland varied between 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Eza1, Eza 2 and Eza 3) and 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Eza 1 in May) with an average of  $186.35 \pm 15.23 \mu\text{S}/\text{cm}$ , and between 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Bon1 and 2 in May) and 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Bon 4 in January) in the Bonamoussadi stream with an average of  $334.61 \pm 85.41 \mu\text{S}/\text{cm}$ . (Fig. 2C). The analysis of the values shows that the electrical conductivity is significantly higher in the Bonamoussadi stream compared to the Ezazou lowland ( $p < 0.05$ ).

### III .1.4. Suspended Solids

In the Ezazou lowland, the suspended solids content of the water varied between 1 mg/L (Eza 2 in October) and 59 mg/L (Eza 3 in June) with an average of  $19.43 \pm 5.05 \text{ mg}/\text{L}$ , and between 0 mg/L (Bon 2, August) and 371 mg/L (Bon 4 in September) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $35.66 \pm 18.72 \text{ mg}/\text{L}$  (Fig. 2D). The analysis of the values shows that the waters of the Bonamoussadi stream are significantly richer in suspended solids ( $p < 0.005$ ).

### III.1.5. Dissolved oxygen

In the Ezazou lowland, the percentage of dissolved oxygen in the water varied between 5% (Eza 1, January) and 76.7% (Eza 1, July 2019) with an average of  $25.7 \pm 7.29\%$ . In the Bonamoussadi stream, it varied between 5% (Bon 4, January) and 126% (Bon 2, December) with an average of  $21.85 \pm 10.96\%$  (Fig. 2E). Analysis of these results showed that the water was significantly more oxygenated in the Ezazou lowland than in the Bonamoussadi stream ( $p = 0.002$ ).

### III.1.6. Ammoniacal nitrogen

In the Ezazou lowland, water concentrations of ammoniacal nitrogen varied between 0 mg/L (Eza 2 in March) and 0.95 mg/L (Eza 1 in March) with an average of  $0.16 \pm 0.03 \text{ mg}/\text{L}$ , and between 0 mg/L and 1.98 mg/L (Bon 1 in March) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $0.24 \pm 0.11 \text{ mg}/\text{L}$  (Fig. 2F). Analysis of the values showed

no significant difference between the two sites ( $P > 0.05$ ).

### III.1.7 Nitrates

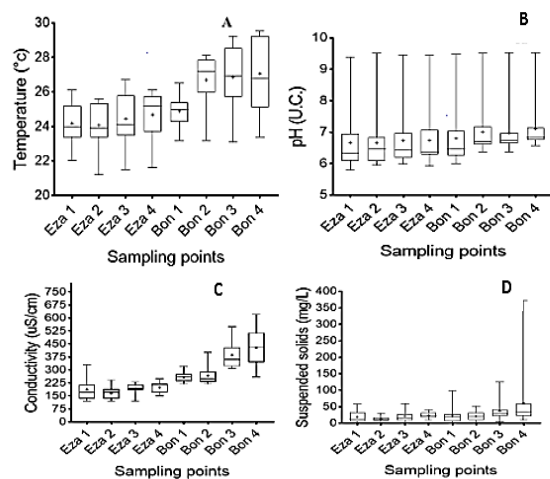
In the Ezazou lowland, nitrate levels in the water ranged from 0.96 mg/L (Eza 4 in November) to 412 mg/L (Eza 3 in August) with an average of  $21.67 \pm 17.98 \text{ mg}/\text{L}$ , and from 0.12 mg/L (Bon 4 in September) to 32 mg/L (Bon 2 in July 2019) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $5.36 \pm 0.74 \text{ mg}/\text{L}$  (Fig. 2G). The analysis of the values reveals that the water is significantly richer in nitrates in the Ezazou lowland ( $p < 0.05$ ).

### III.1.8. Orthophosphates

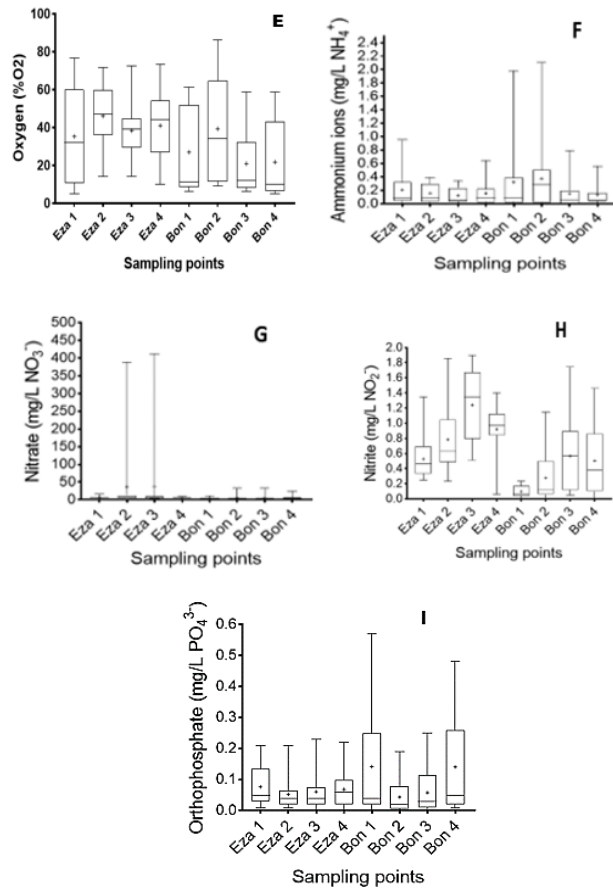
In the Ezazou lowland, the concentrations of orthophosphates in the water varied between 0 mg/L (Eza 4 in August) and 0.23 mg/L (Eza 3 in June) with an average of  $0.06 \pm 0.01 \text{ mg}/\text{L}$ , and between 0 mg/L (Bon 1, Bon 2 and Bon 3) and 0.57 mg/L (Bon 1 in August) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $0.09 \pm 0.05 \text{ mg}/\text{L}$  (Fig. 2H) Analysis of the values showed no significant difference between the two sites ( $p > 0.05$ ).

### III.1.9. Nitrites

In the Ezazou lowland, nitrite levels in the water varied between 0.06 mg/L (Eza 4 in March) and 1.86 mg/L (Eza 2 in April) with an average of  $0.87 \pm 0.3 \text{ mg}/\text{L}$ , and between 0 mg/L (Bon 2 in August) and 1.74 mg/L (Bon 3 in June) in the Bonamoussadi stream, with an average of  $0.36 \pm 0.21 \text{ mg}/\text{L}$  (Fig. 2I). Analysis of the values reveals that the water is significantly richer in nitrites in the Ezazou lowland ( $p < 0.05$ ).



**Figure 2:** Spatial variation of physico-chemical parameters of water in the Ezazou stream lowland and Bonamoussadi stream



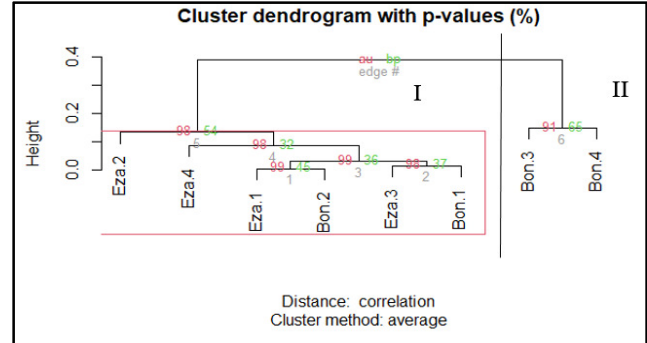
**Figure 2(continued):** Spatial variation of physico-chemical parameters of water in the Ezazou stream lowland and Bonamoussadi stream

### III.2 Abiotic characterisation of the stations

#### III.2.1. Hierarchical Classification Analysis (HCA)

The hierarchical classification analysis carried out on the basis of the physico-chemical parameters enabled the sampling stations to be classified into two groups (I and II). Group I is composed of the stations Eza 1, Eza 2, Eza 3, Eza 4, Bon 1 and Bon 2. Indeed, the most similar stations are Eza 1 and Bon 2 (99%) and Eza 3 and Bon 1 (98%). All these stations are similar to Eza 1 and Eza 4 at 98%. Group II consists of stations Bon 3 and Bon 4, which are 91% similar. The analysis of these

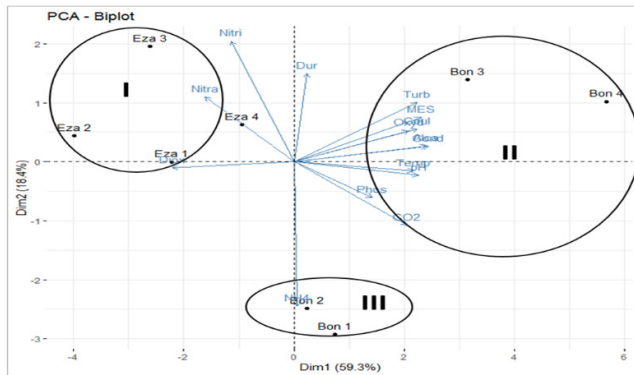
dendrograms reveals that the stations of the Ezazou lowland have very similar physico-chemical characteristics, contrary to the stations of the Bonamoussadi stream. Moreover, in the latter site, only the Bon 3 and Bon 4 stations have fairly similar characteristics.



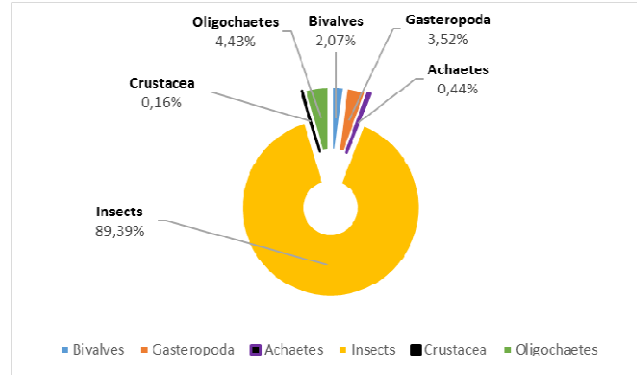
**Figure 3:** Hierarchical cluster analysis (HCA) based on physico-chemical parameters.

#### III.2.2. Principal Component Analysis (PCA)

The principal component analysis carried out on the basis of physico-chemical parameters revealed that dimension 1 (59.3%) and dimension 2 (18.4%) account for 77.7% of the total variance. The map obtained shows that the different stations are divided into three groups (I, II and III). Group I, consisting of the stations Eza 1, Eza 2 and Eza 3, contains the waters with relatively higher oxygen levels and high nitrate content. Group II, comprising the stations Bon 3 and Bon 4, is characterised by turbid, highly coloured water, rich in suspended solids and organic matter. These waters are also very alkaline, highly mineralised and have high temperatures and pH values. Finally, group III, consisting of stations Bon 1 and Bon 2, is characterised by water rich in ammoniacal nitrogen.



**Figure 4:** Principal Component Analysis (PCA) of physico-chemical parameters during the study period.



**Figure 5:** Relative abundance of different classes of benthic macroinvertebrates in the Ezazou lowland

### III.3 Benthic macroinvertebrates

#### III.3.1. Overall taxonomic composition

##### III.3.1.1. Ezazou lowland

A total of 8790 organisms belonging to 3 phyla (Arthropods, Annelids and Molluscs), 6 classes (Insects, Crustacea, Oligochaetes, Achaetes, Gastropods and Bivalves), 12 orders and 59 families were collected in the Ezazou lowland. The Arthropod phylum is the most diverse with 2 classes, 6 orders, 41 families and 71 taxa, followed by the Molluscs with 2 classes, 2 orders, 10 families and 22 taxa and the Annelids with 2 classes, 3 orders, 8 families and 13 taxa.

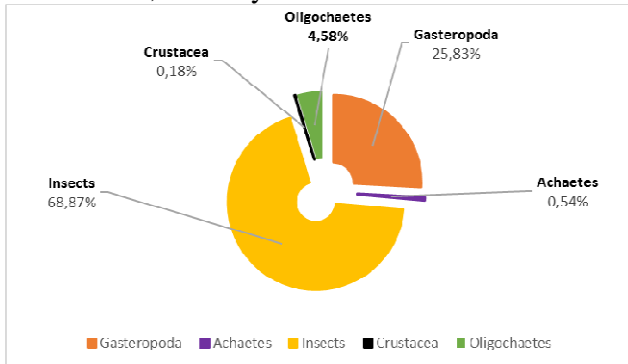
The insect class is the most represented with 7857 individuals, i.e. 89% of relative abundance. It includes 70 taxa divided into 40 families and 5 orders, followed respectively by the Oligochaetes with 389 individuals, i.e. 4.2% of relative abundance, including 8 taxa, 6 families and 2 orders, the Gastropods with 309 individuals, i.e. 4% of relative abundance, including 20 taxa, 8 families and 1 order, Bivalves with 182 individuals or 2% relative abundance with 2 taxa, 2 families and 1 order, Achaetes with 39 individuals or 1% relative abundance with 5 taxa, 2 families and 1 order and finally crustaceans with 14 individuals or 0.1% relative abundance with 1 taxon, 1 family and 1 order.

Of the 5 orders listed in the insect class, Diptera and Coleoptera are the most represented with 12 families each, followed by Heteroptera with 8 families and finally Odonata and Ephemeroptera with 4 families each. At the level of families, the highest abundances are found in the Chironomidae, which alone represent 68.26% of relative abundance. Overall, the greatest taxonomic richness is found in the Hydrophilidae (9 taxa), the Chironomidae (6 taxa) and the Coenagrionidae (5 taxa).

##### III.3.1.2. Bonamoussadi stream

A total of 2821 organisms were collected in the Bonamoussadi stream. These organisms belong to 3 phyla (Arthropods, Annelids and Molluscs), 5 classes (Insects, Crustacea, Oligochaetes, Achaetes and Gastropods), 10 orders and 42 families. The Arthropods phylum is the most diverse with 6 orders, 28 families and 45 taxa followed by the Annelids with 2 classes, 3 orders, 8 families and 13 taxa and the Molluscs with 1 class, 1 order, 6 families and 11 taxa. The insect class is the most represented with 1909 individuals, i.e. 68.87% of relative abundance. It includes 44 taxa divided into 27 families and 5 orders. The class of Gastropods follows with 716 individuals, i.e. 25.83% of relative abundance, divided into 11 taxa, 6 families and 1 order. Next comes the class of Oligochaetes with 127 individuals, i.e. 4.58% of relative abundance, divided into 8 taxa, 6 families and 2 orders. Finally, the class of Achaetes with 15 individuals, i.e. 0.54% relative abundance, divided into 5 taxa, 2 families

and 1 order, and the class of Crustacea with 5 individuals, i.e. 0.18% relative abundance, divided into 1 taxon, 1 family and 1 order.



**Figure 6:** Relative abundance of different classes of benthic macroinvertebrates in the Bonamoussadi stream

Of the 5 orders listed in the insect class, the Diptera and Coleoptera are the most represented with 9 and 8 families respectively, followed by the Heteroptera with 5 families, the Ephemeroptera with 3 families and the Odonata with 2 families. The highest abundances of families are found in the Chironomidae, which represent almost half (51.36%) of the total abundance. Overall, the greatest taxonomic richness is found in the Hydrophilidae (5 taxa) followed by the Chironomidae and Scirtidae (4 taxa).

### III.3.2. Sorensen's similarity coefficient "S"

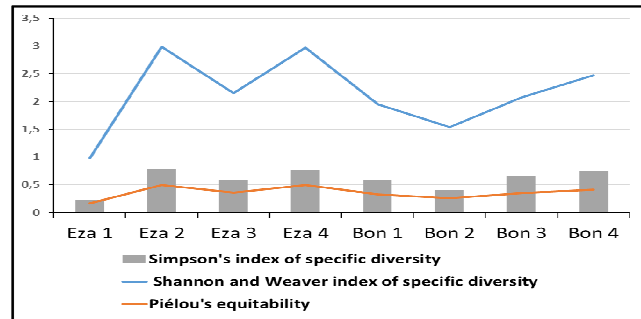
The calculation of the similarity coefficient shows higher values between stations Bon 3 and Bon 4 (73.91%), reflecting their strong faunal similarity, followed by stations Eza 1 and Eza 2 (67.60%) and Eza 2 and Eza 3 (63.88%).

**Table I:** Sorensen's similarity coefficient based on biological variables

Stations	Eza1	Eza2	Eza3	Eza4	Bon1	Bon2	Bon3	Bon4
Eza1	100							
Eza2	67,60	100						
Eza3	58,46	63,888889	100					
Eza4	57,14	60	68,75	100				
Bon1	54,16	50,909091	44,897959	42,553191	100			
Bon2	55,55	45,901639	54,545455	60,377358	57,894737	100		
Bon3	56,60	50	59,259259	61,538462	54,054054	51,162791	100	
Bon4	45,61	50	58,62069	53,571429	39,02439	42,553191	73,913043	100

### III.3.3. Shannon and Weaver, Simpson and Piélou Equitability Diversity Indices

The values of the Shannon and Weaver ( $H'$ ), Simpson ( $S$ ) and Piélou ( $J$ ) diversity indices differ from one site to another. In the Ezazou lowland, the lowest values of diversity and equitability indices were recorded at Eza 1 ( $H' = 0.97$ ;  $S = 0.23$ ;  $J = 0.16$ ) and the highest at Eza 2 ( $H' = 2.98$ ;  $S = 0.79$ ;  $J = 0.49$ ). In the Bonamoussadi stream, the lowest values were recorded in Bon 2 ( $H' = 1.54$ ;  $S = 0.4$ ;  $J = 0.25$ ) and the highest in Bon 4 ( $H' = 2.47$ ;  $S = 0.75$ ;  $J = 0.41$ ). These indices are slightly higher in the Ezazou lowland than in the Bonamoussadi stream, but the difference is not significant ( $p > 0.05$ ).

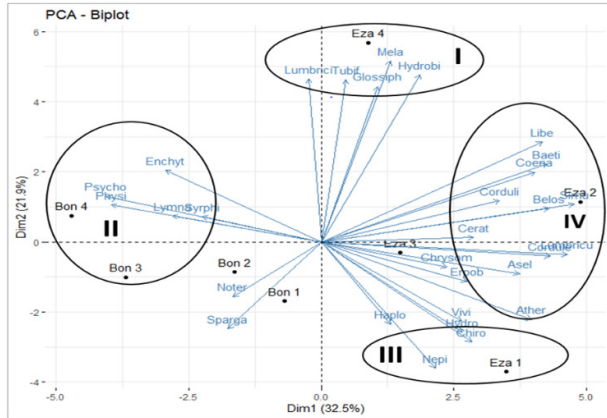


**Figure 7:** Indices of species diversity and equitability

### III.3.4. Principal component analysis (PCA)

A principal component analysis was carried out on benthic macroinvertebrate families with a relative abundance of at least 1%. This analysis revealed that dimension 1 (32.5%) and dimension 2 (21.9%) account for 54.4% of the total variance, which is divided into four nuclei (I, II, III and IV). Group I groups together the families of benthic macroinvertebrates that show an affinity for the waters of the Eza 4 station: the families Melanidae, Lumbricidae, Glossiphonidae, Tubificidae and Hydrobiidae, which are correlated with each other. Group II shows that the families Enchytraeidae, Psychodidae, Physidae, Lymnaeidae and Syrphidae are not only correlated with each other but also develop affinities for the water of stations Bon 3 and Bon 4. Group III shows that the families Nepidae and Chironomidae are related to each other and develop best at the Eza 1 station. Group IV

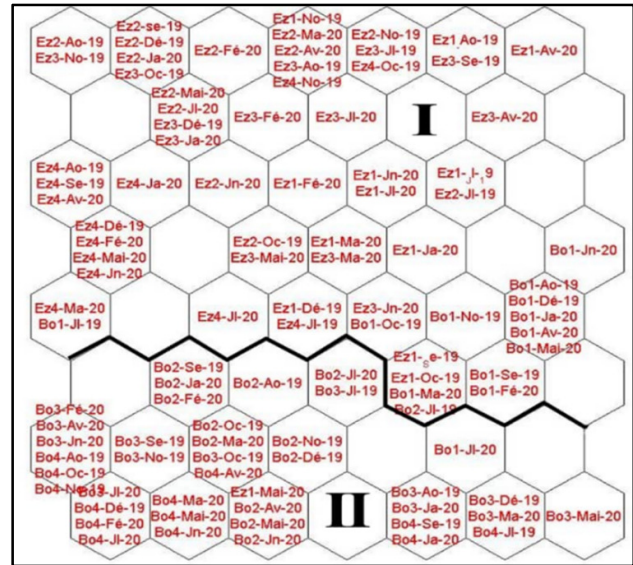
shows that the families of Libellulidae, Baetidae, Coenagrionidae, Cordulidae, Belostomidae, Ceratopogonidae, Simuliidae, Asellidae, Athericidae, Cordulegasteridae and Lumbriculidaehighycolonised the Eza 2 station.



**Figure 8:** Principal Component Analysis (PCA) done on the families of benthic macroinvertebrates during the study period.

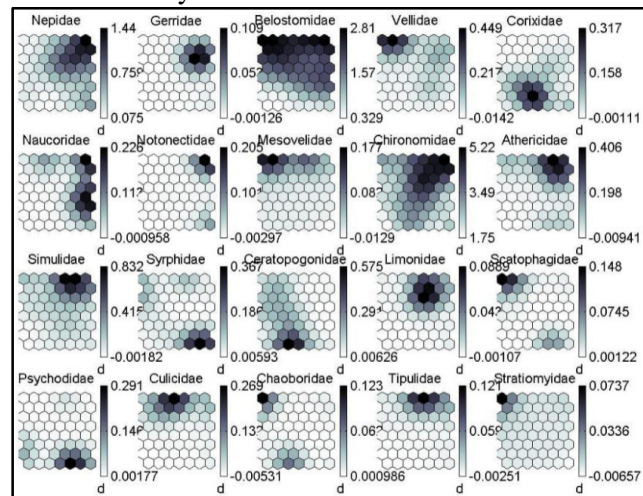
### III.3.5. Kohonen's self-organising map

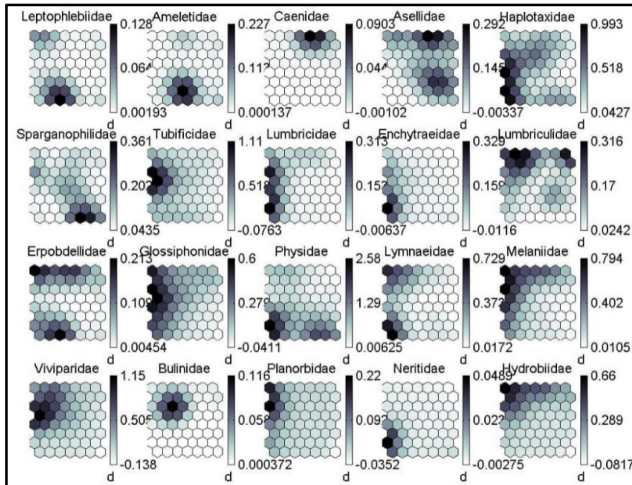
Kohonen's self-organising map (SOM), based on the abundance matrices of benthic macroinvertebrate families, was used to classify the 104 samples (8 stations × 13 field trips) on the basis of the distribution and probability of occurrence of families in the samples. A Kohonen map (Fig. 9) of 56 cells was selected, showing the distribution of organisms in two groups. Group I, located on the upper part of the map, comprises 64 samples, mainly from the Ezazou lowland and Bon 1 station. Group II on the lower part of the map consists of 40 samples located mainly in the last three stations of the Bonamoussadi stream (Bon 2, Bon 3 and Bon 4).



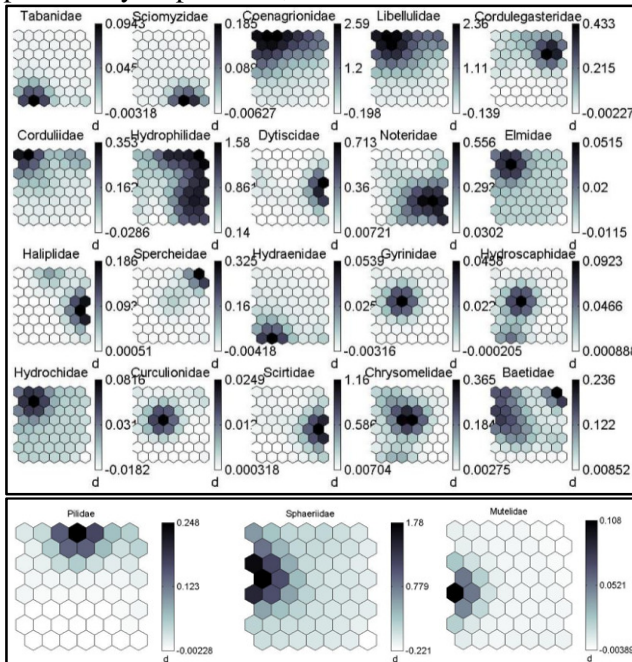
**Figure 9:** Distribution of samples on the SOM map based on the abundance matrix of benthic macroinvertebrate families. I and II: identified groups. Ez1, Ez 2 .....Bo 4: sampling stations; Jl, Ao .....Jl: sampling months; 19, 20: sampling year.

The Figure 10 shows the distribution probability profile of the benthic macroinvertebrate families identified in the groups defined by the SOM. Figure 11 represents the summary of the distribution and shows that group I has the highest taxonomic richness with 29 families compared to group II which has only 12

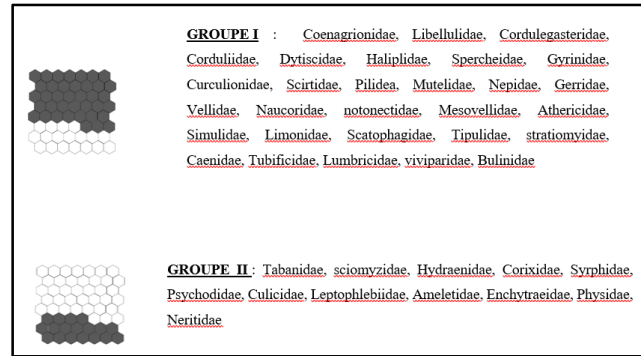




**Figure 10 :** Distribution pattern of benthic macroinvertebrate families collected on the SOM map, made from the abundance matrix: dark colour: high probability of presence; light colour: low probability of presence; d= scale.



**Figure 10 (continued) :** Distribution pattern of benthic macroinvertebrate families collected on the SOM map, made from the abundance matrix: dark colour: high probability of presence; light colour: low probability of presence; d= scale.



**Figure 11:** Distribution of benthic macroinvertebrate families in the different groups defined by the SOM, illustrated in Figure 10.

Of the 29 families identified in group I, only 9 are exclusive; these are: Cordulegasteridae, Spercheidae, Pilidae, Gerridae, Limonidae, Culicidae, Tipulidae, Caenidae and Bulinidae. The remaining 20 families are also present in Group II. Of the 12 families recorded in group II, only 2 are exclusive. These are the Tabanidae and Sciomyzidae(all Diptera) and the other 10 families are also present in group I.

## IV-DISCUSSION

### IV.1 Physico-chemical parameters

The significantly higher temperature values in the Bonamoussadi stream than in the Ezazou lowland could be explained on the one hand by a higher population density in the Bonamoussadi site and on the other hand by the fact that the samples were taken at later times of the day than in the Ezazou site. This corroborates the statements of [26] and [34] according to which anarchic occupation and overpopulation are factors that increase the ambient temperature and consequently that of the water. The pH at the stations is slightly acidic to neutral overall. This would be due to the fact that the physico-chemical characteristics of the stream depend closely on the nature of the soils in the catchment area [31] and [5], which in this case are slightly acidic [6], [33] and [42]. These obtained pH values are in the pH range (5-9 CU) of water suitable for aquatic life [16]. The fact that the pH is slightly more acidic at Ezazou could be explained by the fact that this site has a higher abundance of organisms because, according to [2], the metabolic

activity of the organisms present in the water contributes to the conversion of carbonates into bicarbonate, thus favouring the acidification of the environment. Overall, the average electrical conductivity values (145-495  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indicate weakly mineralised water, as according to [30], water with less than 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  is classified as weakly mineralised. However, the water of Bonamoussadi is significantly more mineralised than the water of Ezazou. This can be explained by the fact that Bonamoussadi is more subject to permanent and chronic pollution of domestic wastewater than Ezazou. In fact, several pipes lead into the Bonamoussadi stream and thus increase the mineralization of the water. These conductivity values recorded in the Bonamoussadi stream are nevertheless lower than those obtained by [2] ( $533.7 \pm 346.18 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) in some waters in the anthropised zone of the city of Yaounde.

The fact that SS values are significantly higher in the Bonamoussadi stream than in the Ezazou lowland can be explained by the fact that the Bonamoussadi stream is located around the University residences and receives all their solid wastes, because according to [41], the quantity of SS is linked to exogenous inputs related to erosion and to the transport of non-soluble particles in the runoff water. The SS values obtained in the Ezazou lowland are lower than those obtained by [2] (average of  $61.41 \pm 21.44 \text{ mg}/\text{L}$ ) in some lowlands of Yaounde. However, these waters remain generally suitable for aquatic life because according to [8] and [1], suspended solids levels below 75  $\text{mg}/\text{L}$  would not have adverse effects on the development of most aquatic organisms. In general, the waters showed low average dissolved oxygen saturation levels ( $35, 13 \pm 9.39\%$ ) although the Ezazou lowland showed higher values than the Bonamoussadi stream. This would mean that in the latter, there is a low oxygenation of the water linked to a greater enrichment of organic matter due to anthropogenic activities. The saturation percentages obtained in the Ezazou lowland are very low than those (above 75%) obtained by [22] and [23] in some peri-urban streams of the city of Yaounde where natural ventilation induced by foliage,

turbulence and recirculation of water favour their reoxygenation at the air-water interface [18].

As for nitrates and nitrites, the higher levels obtained in the Ezazou lowland would be linked to the use of fertilisers in the agricultural activity. In fact, the fertilisers used here are nitrogenous in nature and reach the water through infiltration and run offs. These values are largely higher than those obtained by [2] on certain lowlands of the city of Yaounde (0.3 - 6.9  $\text{mg}/\text{L}$ ) in which there was a low use of nitrogenous fertilisers. Regarding ammoniacal nitrogen, the fact that its values did not vary significantly between sites would indicate a certain approximation in terms of the degree of mineralization of the water, although the Principal Component Analysis indicates high values of ammoniacal nitrogen in some stations in the Bonamoussadi stream (Bon 1 and Bon 2). The mean value ( $0.2 \pm 0.09 \text{ mg}/\text{L}$ ) obtained overall was low compared to that obtained by [22] on the Mefou, a peri-urban stream. The fact that orthophosphate levels did not vary significantly between the two sites could be explained by the low contamination of the waters at both sites by industrial effluents rich in synthetic detergents [25]. The values obtained at both sites were low (0.23 - 0.57  $\text{mg}/\text{L}$ ) compared to those obtained (0.28 - 1.96  $\text{mg}/\text{L}$ ) by [2] at some of the lowlands. According to [17], this water with low orthophosphate content are favourable for the development of many biological groups.

#### **IV.2 Benthic macroinvertebrate population**

The higher abundance of benthic macroinvertebrates in the Ezazou lowland (8790) compared to the Bonamoussadi stream (2821) could be explained by the current speed, which was lower in Ezazou than in Bonamoussadi, as high current speeds can cause organisms to drift [37]. This difference can also be explained by the physico-chemical conditions in the Ezazou lowland, which are more favourable to the development of these organisms. Indeed, the Ezazou lowland have higher dissolved oxygen saturation rates than the Bonamoussadi stream and conditions favourable to the harmonious development of benthic macroinvertebrates, which are essentially aerobic

organisms. This higher abundance could be explained more by the fact that in the Ezazou lowland, the pollution is essentially organic, whereas in the Bonamoussadi stream it is organic and chemical and therefore more stressful. The abundance values obtained in the Bonamoussadi stream are nevertheless higher than those obtained by [22] on the Mefou (1801 individuals) and by [23] on the Nga (2553 individuals).

In both sites, the arthropod phylum is the most represented with the insect class predominating without significant difference between the two sites. This can be explained by the fact that arthropods, and more particularly insects, have a genetic plasticity and cosmopolitanism that gives them a great ability to colonise different ecological niches while adapting to the state of the environment [37]. This is further corroborated by the fact that the most represented orders at both sites were Diptera and Coleoptera, all insects. This predominance of insects would indicate poor water quality, as according to [9], insects other than EPT (Ephemeroptera - Plecoptera - Trichoptera) are abundant in degraded environments with unhealthy environments and highly polluted with organic matter due to domestic waste. This is the case of the Ezazou lowland, which is subject to pollution by pesticides, and the Bonamoussadi stream, which is subject to pollution by excrement and domestic waste. These observations were also made by [38] in some streams in the city of Douala where insects represented 79.78% of abundance and by [27] on some streams in the Western region where insects represented 86.5% of total abundance.

Concerning the families, there was no significant difference in their distribution in the two sites. In fact, the Chironomidae had the highest abundance and the Hydrophilidae the highest taxonomic richness. Organisms of these two families are generally abundant in environments with a high content of various organic matter [37]. Their predominance in the two sites could therefore indicate polluted waters. The predominance of certain groups of organisms to the detriment of others is reflected in the diversity indices. Indeed, the low values obtained indicate a low diversity of macroinvertebrates as a whole with the

predominance of one group. This state of affairs would also reflect a certain environmental imbalance, since according to [20], high values of diversity indices indicate environmental conditions that are favourable to the establishment and maintenance of a varied and adaptable biological community. The fact that these indices are slightly higher (although this difference is not significant) in the Ezazou lowland than in the Bonamoussadi stream and would therefore indicate a better characteristics for the development of benthic fauna. From the analysis of the results of the Principal Component Analysis (PCA) carried out on the basis of the families of organisms, we can deduce that the families of nucleus II (the families of Enchytraeidae, Psychodidae, Physidae, Lymnaeidae and Syrphidae) are fond of the Bon 3 and Bon 4 stations, whose water is turbid, highly coloured, rich in suspended solids and organic matter, very alkaline and averagely mineralised, as revealed by the Principal Component Analysis carried out on the basis of physico-chemical parameters. These families of organisms could therefore be considered as indicators of poor ecological water quality.

The SOM map made it possible to distinguish the two sites and corroborates the results of Sorensen's similarity coefficient, according to which similarities are stronger between stations at the same site than between stations at different sites. Indeed, when we associate the families of organisms exclusive to each of the 2 groups of the SOM map with the physico-chemical analyses, we can affirm that the 9 families exclusive to group I would have a particular affinity for water more oxygenated and rich in nitrates (that of the Ezazou lowland water) whereas the 2 families exclusive to group II would prefer turbid water, highly coloured, rich in suspended solids and organic matter, very alkaline and highly mineralised (those of the Bonamoussadi stream). Thus, the water of the Ezazou lowland would be of better ecological quality than those of the Bonamoussadi stream and the two families (Tabanidae and Sciomyzidae) exclusive to the Bonamoussadi stream would be indicative of water strongly impacted by anthropogenic activities.

## V- CONCLUSION

At the end of this study, which aim was to compare the water quality of a lowland of Ezazou and urbanized stream across Bonamoussadi, it emerged that, from a physico-chemical point of view, the waters of the Ezazou lowland are more oxygenated and richer in nitrates and nitrites, whereas those of the Bonamoussadi stream are richer in suspended solids and organic matter, more mineralised, with higher temperatures and pH levels. On the whole, the Bonamoussadi stream and the Ezazou lowland are disturbed and degraded environments, with water of poor physico-chemical quality, the degradation being less accentuated in Ezazou because of the nature of the site (lowland), the type of pollution (mainly agricultural) and the low surrounding population. In fact, given the intensity of agricultural activity in Ezazou and the associated practices, we expected water of more degraded physico-chemical quality, but the results are rather encouraging, and suggest that the hydrological function of the lowland may enabled a certain amount of water purification. In terms of biology, the Ezazou lowland showed a higher abundance with 8790 individuals and 107 taxa, whereas the Bonamoussadi stream only counted 2821 individuals and 69 taxa. In both sites, Arthropods are the most diverse phylum and Insects the most represented class. Diptera is the most represented order and families of Chironomidae and Hydrophilidae showed the highest abundance and taxonomic richness. Diversity indices showed low macroinvertebrate diversity at both sites, with low equi-partitioning of individuals resulting in the dominance of one group. Although the Ezazou lowland had slightly higher indices values than the Bonamoussadi stream, the species diversity was not significantly different between the two. Thus, the water of the Ezazou lowland would be of slightly better ecological quality than those of the Bonamoussadi stream.

## VI- REFERENCES

- [1] AE (2003). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau : grilles d'évaluation. Version 2 du Seq-Eau, Agences de l'Eau, 40 p.
- [2] Ajegah G. A., Chumtchoua A. L., Mbouombou M., Foto M. & Njine T. (2016). Evaluation de l'abondance des kystes des protozoaires flagellés dans les eaux usées exploitées en agriculture maraichère en zone urbaine de Yaoundé (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 107: 10450-10459.
- [3] Allan J. D. & Flecker A. S. (1993). Biodiversity conservation in running waters: identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. *Bioscience*, vol. 43 : 32-43.
- [4] Apouamoun Yiagnigni M. (2006). Hydrologie et transports solides dans un écosystème forestier anthropisé : exemple du bassin versant de la Mefou (Centre-sud Cameroun). Mémoire de DEA. Université de Yaoundé I. 52 p.
- [5] Arienzo M., Adamo P., Bianco M.R. & Violante P. (2001). Impact of land use and urban runoff on the contamination of the Sarno River Basin in Southern Italy. *Water, Air and Soil Pollution*, 131 : 349-366.
- [6] Bachelier G. (1959). Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogénèse des sols ferralitiques. *Agronomietropicale XIV*, 3 (1) : 279-305
- [7] Boon P.J. (1992). Essential elements in the case for river conservation. In : *River conservation and management*, P.J. BONN, P. CALOW et G.E. PETTS édit., Édit. John Wiley and Sons, Chichester (GB): 11-33.
- [8] Camacho A. (1992). The natural history of biospeleology. *Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Monografias, Vol. 7*, 680 p.
- [9] Colas F., Archambault V., Féraud J.F., Bouquerel J., Roger M.C. & Devin S. (2013). Benthic indicators of sediment quality associated with run-of-river reservoirs. *Hydrobiologia*, 703: 149-164.
- [10] Colas F., Vigneron A., Felten V. & Devin S. (2014). The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment : using macroinvertebrates species under multiple stressors. *Environmental pollution*, 185 : 24-34.
- [11] Day J.A., Harrison A.D. & De Moor I.J. (2002). Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa, Vol 9 :Diptera. *Water*

- Research Commission Report, No. TT 201/02, Pretoria-South Africa, 210 p.
- [12] De Moor I.J., Day J.A., & 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.
- [13] De Moor I.J., Day J.A. & 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, 219 p.
- [14] Durand J. R. & Lévêque C. (1980). Flore et faune aquatique de l'Afrique Sahélo-Soudanienne. Tome 1. Document Technique 44, Paris, France. 389 p.
- [15] Durand J.R. & Lévêque C. (1991). Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne. Tome II. Edition de l'ORSTOM, Paris, 517p.
- [16] Dussart B.H. &Defaye D. (1995). Copepoda: Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the microinvertebrates of the continental waters of the world 7, Dumont H.J. (ed.), S.P.B. The Hague, Academic Publishing, 276 p.
- [17] Efendene B. &Riwom S.H. (2000). Contribution à l'élaboration des normes de rejets d'effluents industriels. Bioscience Proceeding 7 : 61-66.
- [18] Fernandes J.F., de Souza A.L.T. & Tanaka M.O. (2014). Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? A tropical case study. *Hydrobiologia*, 724 : 175-185.
- [19] FilaliRharrassi K. (2008). Caractérisation du comportement de la matière organique vis-à-vis des éléments traces métalliques (Cu, Ni, Pb) dans les effluents industriels et les aquifères dans un bassin versant élémentaire de Douala-Bassa (Cameroun). Rapport de fin de stage de Master. Université du Sud Toulon-Var, Université de Douala, 42 p.
- [20] Fisher S.G., Gray L.J., Grimm N. B. & Busch D.E. (1982). Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding, *Ecological Monograph* : 52: 93-110.
- [21] FotoMenbohan S., ZebazeTogouet S. H., NyamsiTchatcho N. L. & T. Njine.(2010). Macroinvertébrés du cours d'eau Nga : essai de caractérisation d'un référentiel par les analyses biologiques : *European Journal of Scientific Research* ; 1: 96-106
- [22] FotoMenbohan S., Koji E., Ajeagah G.A., BilongBilong C.F. &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: 137-145.
- [23] FotoMenbohan S., Tchakonté S., Ajeagah G.A., ZébazéTogouet S.H., BilongBilong C.F. &Njiné T. (2013). Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2: 91-104.
- [24] Hidermann H. &Seidenbusch R. (2002). Larve et exuvies des libellules de France et d'Allemagne. 416 p.
- [25] 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.
- [26] Jain S. (2012). Assessment of water quality at the three Stations of Chambal River. *International Journal of Environmental Sciences*, 3: 881-884.
- [27] Kengne F. J. (2018). Bio-évaluation des cours d'eau de la région Ouest du Cameroun à l'aide des macroinvertébrés benthiques et construction d'un indice multimétrique régional. Thèse de Doctorat, Université de Lille-Université de Yaoundé I, 174 P + annexes.
- [28] Moisan J. (2006). Guide d'identification des principaux Macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours peu profonds. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement

- et des Parcs. ISBN-10 : 2-550-48518-1 (PDF). 82 p.
- [29] Moisan J. & Pelletier L. (2008). Guide de surveillance biologique basé 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, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p
- [30] Nisbet M., & Vernaux J. (1970). Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, 6 (2) :161-190.
- [31] Nola M., Njiné T., Monkiedje A. & Tailliez R. (1999). Approche colimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé. *Tropicultura*, 21: 73-78.
- [32] Onguene M. (1993). Différenciation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun) : Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune en relation avec l'évolution du modèle. Thèse de Doctorat d'état, Université de Paris VI, 254 p.
- [33] Pelletier J.L. (1969). Données générales sur la répartition des principaux types de sol de la région de Yaoundé. Document ORSTOM, série sol. 24 p.
- [34] Porse E.C. (2013). Stormwater Governance and Future Cities. *Water*, 5 : 29-52.
- [35] Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau. 8e édition, Dunod, Paris, 1384 p.
- [36] Suchel B. 1987. Les climats du Cameroun, thèse de Doctorat d'Etat. 4 tomes, Université de Bordeaux III. 186 p.
- [37] Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2010). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, France, 588 p.
- [38] Tchakonté S. (2016). Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat/phD, Université de Yaoundé I, 205 p.
- [39] Touzin D. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval, 32 p.
- [40] Wang B., Liu D., Liu S., Zhang Y., Lu D. & Wang L. (2012). Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China. *Hydrobiologia*, 680 : 39-51.
- [41] Wéthé J., Radoux M. & Tanawa E. (2003). Assainissement des eaux usées et risques sociosanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *Revue en Science de l'Environnement*, 5 (4) : 23 - 25.
- [42] Yongue-Fouateu R. (1986). Contribution à l'étude pétrographique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatiques de la région de Yaoundé. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I, 214 p.