

UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

**DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**  
*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*  
**LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**  
*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

*Influence de quelques facteurs  
environnementaux sur la distribution des  
macroinvertébrés benthiques de quelques  
cours d'eau du département de la Mvila,  
Région du Sud-Cameroun*

**THÈSE**

Soutenue le 06 Juillet 2023, pour l'obtention du diplôme de Doctorat /Ph.D en

**Biologie des Organismes Animaux**

Option : **Hydrobiologie et Environnement**

Par :

**NWAHA Mathias**

Matricule : 10Q0556

*Master ès-Sciences*

Devant le Jury composé de :

Président : **NOLA MOÏSE**, *Professeur*, UY 1

Rapporteur : **FOTO MENBOHAN Samuel**, *Maître de Conférences*, UY 1

Membres : **AJEAGAH Gideon AGHAINDUM**, *Professeur*, UY 1

**ZEBAZE TOGOUET Serge H**, *Professeur*, UY 1

**SEINO Richard AKWANJOH**, *Maître de Conférences*, UBda



**ANNÉE : 2023**

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

B.P. 812 Yaoundé  
Tél: (237) 242239584  
Fax: (237) 242234496



UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
FACULTY OF SCIENCE

\*\*\*\*\*

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

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

**ATTESTATION DE CORRECTION DE LA THESE DE  
DOCTORAT/Ph.D**

\*\*\*\*\*

Nous soussignés, Professeurs **NOLA Moïse**, **ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert** et **AJEAGAH Gideon AGHAINDUM**, membres du jury de soutenance de la thèse de Doctorat/Ph.D en **Biologie des Organismes Animaux**, option **Hydrobiologie et environnement**, présentée le jeudi, 06 juillet 2023, par Monsieur **NWAHA Mathias**, Matricule **10Q0556**, sur le thème : « *Influence de quelques facteurs environnementaux sur la distribution des macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau du département de la Mvila, Région du Sud-Cameroun* », attestons que toutes les corrections demandées au candidat lors de cette évaluation ont été effectuées. Le document peut donc être déposé sous sa forme actuelle.

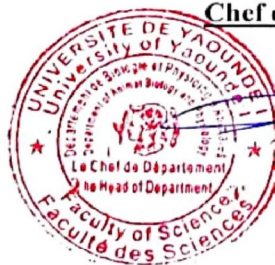
En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yaoundé, le **23 NOV 2023** .....


Examinateurs

Président du Jury

Chef de Département



**Charles Félicie  
Bilong Bilong  
Professeur**

<b>UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I</b> <b>Faculté des Sciences</b> <b>Division de la Programmation et du</b> <b>Suivi des Activités Académiques</b>		<b>THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I</b> <b>Faculty of Science</b> <b>Division of Programming and Follow-up</b> <b>of Academic Affairs</b>
<b>LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS</b>		<b>LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF</b>

**ANNÉE ACADEMIQUE 2022/2023**  
 (Par Département et par Grade)  
**DATE D'ACTUALISATION 31 MAI 2023**

**ADMINISTRATION**

**DOYEN** : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maître de Conférences*  
**VICE-DOYEN / DPSAA**: ATCHADE Alex de Théodore, *Professeur*  
**VICE-DOYEN / DSSE** : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*  
**VICE-DOYEN / DRC** : ABOSSOLO ANGUE Monique, *Maître de Conférences*  
**Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*  
**Chef Division des Affaires Académiques, de la Recherche et de la Scolarité DAARS** :  
 AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

**1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (43)**

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	ATOHO Barbara MMA	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	<i>Chef DAF / FS</i>
13	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	<i>VD/FS/Univ Ebwa</i>
16	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
17	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
18	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
19	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
20	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS / UDs</i>
21	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
22	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste

23.	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
-----	--------------------------	-----------------------	----------

24.	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
25.	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
26.	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
27.	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
28.	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
29.	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
30.	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
31.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
32.	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
34.	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
35.	PECHANGOU NSANGO Sylvain	Chargé de Cours	En poste
36.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste

37.	BAKWU BASSOGOG Christian Bernard	Assistant	En Poste
38.	ELLA Fils Armand	Assistant	En Poste
39.	EYENGA Eliane Flore	Assistant	En Poste
40.	MADIESSE KEMGNE Eugenie Aimée	Assistant	En Poste
41.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Assistant	En Poste
42.	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistant	En poste
43.	WOGUIA Alice Louise	Assistant	En Poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (52)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2.	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	<i>Chef de Département</i>
3.	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5.	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UYI</i>
7.	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
9.	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
10.	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
11.	NOLA Moïse	Professeur	En poste
12.	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
13.	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service / Coord.Progr./MINSANTE</i>
14.	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste



15.	ALENE Désirée Chantal	Maître de Conférences	<i>Vice Doyen/ Uté Ebwa</i>
16.	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17.	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18.	GOUNOUE KAMKUMO Raceline épouse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
19.	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
20.	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
21.	MAHOB Raymond Joseph	Maître de Conférences	En poste
22.	MBENOUN MASSE Paul Serge	Maître de Conférences	En poste
23.	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
24.	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste
25.	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste
26.	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
27.	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
28.	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
29.	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
30.	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste

31.	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
32.	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
33.	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
34.	FEUGANG YOUNSSI François	Chargé de Cours	En poste
35.	FOKAM Alvine Christelle Epse KENGNE	Chargé de Cours	En poste
36.	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
37.	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
38.	KOGA MANG DOBARA	Chargé de Cours	En poste
39.	LEME BANOCK Lucie	Chargé de Cours	En poste
40.	MAPON NSANGO Indou	Chargé de Cours	En poste
41.	METCHI DONFACK MIREILLE FLAURE EPSE GHOUMO	Chargé de Cours	En poste
42.	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
43.	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
44.	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Chef Div. Uté Bamenda</i>
45.	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste
46.	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
47.	YEDE	Chargé de Cours	En poste
48.	YOUNOUSSA LAME	Chargé de Cours	En poste

49.	AMBADA NDZENGUE GEORGIA ELNA	Assistante	En poste
50.	KODJOM WANCHE Jacguy Joyce	Assistante	En poste
51.	NDENGUE Jean De Matha	Assistant	En poste
52.	ZEMO GAMO Franklin	Assistant	En poste

### 3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (34)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
3.	MBOLO Marie	Professeur	En poste
4.	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5.	YOUMBI Emmanuel	Professeur	En poste
6.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

7.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8.	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
9.	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Maître de Conférences	En poste
10.	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11.	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	<i>DAAC /UDla</i>
12.	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	En poste
13.	NGALLE Hermine BILLE	Maître de Conférences	En poste
14.	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15.	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	<i>CT / MINRESI</i>
16.	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
17.	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
18.	ONANA JEAN MICHEL	Maître de Conférences	En poste

19.	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
20.	GONMADGE CHRISTELLE	Chargée de Cours	En poste
21.	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
22.	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
23.	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
24.	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargé de Cours	<i>En détachement/UNESCO MALI</i>
25.	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Chargé de Cours	En poste
26.	KABELONG BANAHOU Louis-Paul-Roger	Chargé de Cours	En poste
27.	KONO Léon Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
28.	LIBALAH Moses BAKONCK	Chargé de Cours	En poste
29.	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Chargé de Cours	En poste
30.	TAEDOUNG Evariste Hermann	Chargé de Cours	En poste
31.	TEMEGNE NONO Carine	Chargé de Cours	En poste
32.	MANGA NDJAGA JUDE	Assistant	En poste
33.	DIDA LONTSI Sylvere Landry	Assistant	En poste
34.	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste

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

1.	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Mission PR</i>
2.	NANSEU NJIKI Charles Péguy	Professeur	En poste
3.	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
4.	NENWA Justin	Professeur	En poste
5.	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>Doyen FS Univ.Ngaoundere</i>
6.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
7.	NJOYA Dayirou	Professeur	En poste

8.	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
9.	EMADAK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
10.	KAMGANG YOUNBI Georges	Maître de Conférences	En poste
11.	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
12.	KENNE DEDZO GUSTAVE	Maître de Conférences	En poste
13.	MBEY Jean Aime	Maître de Conférences	En poste
14.	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
15.	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Maître de Conférences	<i>Sénatrice/SENAT</i>
16.	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
17.	NYAMEN Linda Dyorisse	Maître de Conférences	En poste
18.	PABOUDAM GBAMBIE AWAWOU	Maître de Conférences	En poste
19.	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
20.	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Maître de Conférences	<i>Chef Service/ ENS Bertoua</i>
21.	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Maître de Conférences	En poste
22.	KOUOTOU DAOUDA	Maître de Conférences	En poste

23.	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
24.	NCHIMI NONO KATIA	Chargée de Cours	En poste
25.	NJANKWA NJABONG N. Eric	Chargé de Cours	En poste
26.	PATOUOSSA ISSOFA	Chargé de Cours	En poste
27.	SIEWE Jean Mermoz	Chargé de Cours	En Poste
28.	BOYOM TATCHEMO Franck W.	Assistant	En Poste

**5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (37)**

1.	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>Vice-Doyen / DPSAA</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>Directeur/ MINESUP/ Chef de Département</i>
5.	WANDJI Jean	Professeur	En poste

6.	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
----	-------------------------	------------	----------

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

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

36.	MUNVERA MFIFEN Aristide	Assistant	En poste
37.	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste

<b>6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)</b>
--

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Division MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Inspecteur Général/ MINESUP</i>

3.	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
----	---------------	-----------------------	----------

4.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste
----	----------------	-----------------------	----------

5.	ABESOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	<i>Chef de Cellule MINFOPRA</i>
6.	AMINO HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
7.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
8.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
9.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10.	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
11.	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste
12.	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
13.	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
14.	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	En poste
15.	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
16.	NZEKON NZEKO'O ARMEL JACQUES	Chargé de Cours	En poste
17.	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Sous-Directeur ENSET Ebolowa</i>
18.	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste

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

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

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Chef de Département</i>
----	-----------------------	------------	----------------------------

2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef Service des Programmes &amp; Diplômes/FS/Uyi</i>
7.	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
8.	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
9.	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

10.	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINEPAT</i>
11.	BOGSO ANTOINE Marie	Chargé de Cours	En poste
12.	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13.	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14.	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste

15	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
16	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
20	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
21	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
22	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
23	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste
24	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>
25	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
26	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste

27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
29	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
30	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
31	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
32	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistant	En poste
33	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste

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

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>

3.	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
4.	BOUGNOM Blaise Pascal	Maître de Conférences	En poste
5.	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6.	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
7.	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
8.	NJIKI BIKOÏ Jacky	Maître de Conférences	En poste
9.	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste

10.	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
11.	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste
12.	MEYIN A EBONG Solange	Chargé de Cours	En poste
13.	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargé de Cours	En poste
14.	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
15.	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargé de Cours	En poste



16.	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	<i>Chef de Service de la Scolarité</i>
17.	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste

18.	NKOUÉ TONG Abraham	Assistant	En poste
19.	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistant	En poste
20.	EZO'O MENGO Fabrice Télésfor	Assistant	En poste
21.	EHETH Jean Samuel	Assistant	En poste
22.	MAYI Marie Paule Audrey	Assistant	En poste
23.	NGOUE NAM Romial Joël	Assistant	En poste
24.	NJAPNDOUNKE Bilkissou	Assistant	En poste

### 9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (43)

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3.	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. Uté Ngaoundéré</i>
4.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5.	HONA Jacques	Professeur	En poste
6.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
9.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10.	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
12.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FSUniv/Bda</i>
13.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16.	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
17.	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18.	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19.	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20.	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
22.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
23.	MELI'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
24.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
25.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste

26.	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27.	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>
30.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférences	<i>En stage depuis février 2023</i>
31.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
32.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
33.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
34.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
35.	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
36.	FOUEJIO David	Chargé de Cours	<i>Chef Cell. MINADER</i>
37.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
38.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
39.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	Directeur Unité de production des réactifs/IMPM
40.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
41.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste
42.	NGA ONGODO Dieudonné	Assistant	En poste
43.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

### 10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)

1.	BITOM Dieudonné-Lucien	Professeur	<i>Doyen / FASA /UDs</i>
2.	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
3.	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	<i>Chef de Département</i>
4.	NGOS III Simon	Professeur	En poste
5.	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
6.	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
7.	ONANA Vincent Laurent	Professeur	<i>Chef de Département/Uté. Eb.</i>
8.	YENE ATANGANA Joseph Q.	Professeur	<i>Chef Div. /MINTP</i>

9.	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
10.	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	En poste
11.	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	<i>Chef Div./Uté Ebolowa</i>
12.	Elisé SABABA	Maître de Conférences	En poste
13.	FUH Calistus Gentry	Maître de Conférences	<i>Sec. d'Etat/MINMIDT</i>

14.	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
15.	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	<i>Chef de Div. /Uté Bertoua</i>
16.	MBIDA YEM	Maitre de Conférences	En poste
17.	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/MINIMDT</i>
18.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste
19.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
20.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
21.	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
22.	TCHAKOUNTE Jacqueline épse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cell /MINRESI</i>
23.	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
24.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
25.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>

26.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
27.	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
28.	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
29.	EYONG John TAKEM	Chargé de Cours	En poste
30.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Chargée de Cours	En poste
31.	MBESSE Cécile Olive	Chargée de Cours	En poste
32.	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33.	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Chef Serv./Uté Maroua</i>
34.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
36.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
37.	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
38.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
39.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
40.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste

41.	KOAH NA LEBOGO Serge Parfait	Assistant	En poste
42.	NGO'O ZE ARNAUD	Assistant	En poste
43.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Assistante	En poste

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

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

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

- Professeurs **69 (07)**
- Maîtres de Conférences **125 (40)**
- Chargés de Cours **125 (30)**
- Assistants **40 (12)**

( ) = Nombre de Femmes **89**

# **DÉDICACE**

*À*

*Ma tendre et adorable mère **Ngo MBONDO Pauline**, pour son amour de mère sans faille, sa complicité, ses enseignements.*

*J'aurais aimé que mon père **GWETH Pierre**, ainsi que mon oncle **MBONDO Godefroy Germain**, soient parmi nous en ce moment, mais **Dieu** en a décidé autrement ; je les dédie également ce travail.*

## **REMERCIEMENTS**

Je rends grâce au Seigneur Dieu Tout-Puissant pour le souffle de vie, la force, le courage, la détermination et les « *armes nécessaires* » qu'il m'a procuré afin que ce travail soit réalisé.

Je tiens d'abord à exprimer toute ma gratitude au **Professeur FOTO MENBOHAN Samuel**, qui a accepté de diriger ce travail de recherche non pas parce que j'étais le plus méritant, mais simplement parce qu'il a su placer sa confiance en moi, malgré mes multiples déboires et mes transgressions. Recevez ici, professeur et « *bâtisseur* », l'allégation de ma gratitude intemporelle et mémorable.

J'adresse mes remerciements au Professeur **NOLA Moïse** Chef du Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement (LHE), pour l'opportunité qu'il m'a donné de travailler dans ledit laboratoire.

J'exprime également ma gratitude à tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de la faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I pour la formation reçue et les conseils prodigués lors de l'accomplissement de ce travail, notamment les Professeurs **BILONG BILONG Charles Félix**, **AJEAGAH Gideon AGHAINDUM**, **ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert**, **KEKEUNOU Sévilor**, **DJIETO Lordon Champlain**, **FOMENA Abraham**, **MIMPFONDI Rémy**, **NJIOKOU Flobert**, **ESSOMBA née NTSAMA MBALA Claudine**, **MEGNEKOU Rosette**, **MONY Ruth**, **TOMBI Jeannette**, **DJIOGUE Séfirin**, **MBENOUN MASSE Paul Serge**, **NOAH EWOTI Vivien**, **MAHOP Raymond Joseph**, **MOUNGANG Luciane Marlyse**, **ALENE Désirée Chantal**.

J'adresse un merci particulier aux docteurs, **YEDE**, **MVEYO NDANKEU Yves Patrick**, **BIRAM à NGON Éric Belmont**, **KAPSO Mireille**, **ENAH ACHUO Dikson**, **MBOUOBOUO MAMA**, **ASI**, **YOGBACK Estelle Gertrude**, pour leurs encouragements et leurs nombreux conseils. A mes camarades de laboratoire **DZAVI Jean**, **TCHOUAPI Yvonne Laure**, **NGALAMO Chamberline**, **MELLE EPOUNDE Carine**, **MBANGA MEDJO Pascale**, **NYAME MBIA Donald-l'Or** mon partenaire de terrain, **TEMGOUA ZEMO Marie Anita**, **BIYONG Tatiana**, **TCHOUTA Ulric** et **SOB NANGOU Paul Bertrand** pour leurs multiples assistances.



J'adresse mes remerciements à mes camarades de promotion **Dr MOANONO Patrick, Dr TSOMENE Pierre, NANFACK Rodrigue, BOUDEM Cécile Rita, GWOS NHIOMOCK Serge Roger et TAYOU Blandine**, pour leurs assistances, leurs motivations et leurs encouragements.

Je suis très reconnaissant envers ma famille notamment mes grandes sœurs la **Rev. NGO MBONDO Marie Chyle, NGO GWETH Suzanne et NGO GWETH Véronique**, pour leurs multiples soutiens et leurs encouragements.

Je suis reconnaissant envers toute ma famille, notamment tous mes frères et sœurs qui ont œuvré de près ou de loin pour que ce travail soit réalisé, une fois de plus merci d'avoir su garder votre confiance en moi.

Je dis un merci très particulier au **Collège Atangana Fouda Albert l'Enseignant (CAFAE)** à travers son principal monsieur **ABEGA Jean Anicet**, pour son soutien durant les campagnes de prélèvement.

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

# **SOMMAIRE**

LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS .....	ii
LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF .....	ii
DÉDICACE.....	xiv
REMERCIEMENTS.....	xv
SOMMAIRE.....	xvii
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES .....	xix
LISTE DES FIGURES.....	xx
LISTE DES TABLEAUX .....	xxiii
RESUME.....	xxiv
ABSTRACT .....	xxvi
INTRODUCTION .....	0
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	4
I.1- Hydrosystèmes d'eau douce .....	5
I.2- Caractérisation physico-chimique des cours d'eau.....	5
I.3- Caractérisation biologique des cours d'eaux.....	8
I.4- Groupes trophiques.....	22
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES .....	29
II.1- Matériel.....	30
II.1.1- Présentation du site d'étude.....	30
II.1.2- Présentation des différents sous bassins versants et des stations d'échantillonnage.....	31
II.2- Méthodes.....	37
II.2.1- Caractérisation granulométrique .....	37
II.2.2- Mesure des paramètres physico-chimiques.....	38
II.2.3- Macroinvertébrés benthiques.....	39
II.2.4- Analyse des données .....	40

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....	47
III.1- Résultats .....	48
III.1.1- Données granulométriques .....	48
III.1.2- Données physicochimiques .....	49
III.1.3- Macroinvertébrés benthiques .....	94
III.2- DISCUSSION .....	146
III.2.1- Variables physicochimiques .....	146
III.2.2- Variables Biologiques .....	149
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	156
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	160
ANNEXES .....	177

## ***LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES***

ACC : Analyse Canonique des Correspondances

ACH : Analyse de Classification Hiérarchique

ACP : Analyse en Composantes Principales

AE : Agence de l'Eau

APHA : American Public Health Association

CEAEQ : Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EPA : Environmental Protection Agency

FTU: Formazin Turbidity Unit

GPS: Global Positioning System

IndVal : Indicator Value

IPO : Indice de Pollution Organique

MEDDE : Ministère de l'Éducation, du Développement Durable et de l'Environnement

MES : Matières En Suspension

MIB : Macroinvertébrés benthiques

Pt-Co: Platinium Cobalt

SOM : Self Organizing Map

SPSS: Statistical Package for Social Science.

TDS : Total Dissolved Solid

UC : Unité Conventionnelle

WFD : Water-Framework-Directive

## ***LISTE DES FIGURES***

Figure 1 : Larve d'éphéméroptère .....	13
Figure 2 : Larve de Neoperlidae.....	15
Figure 3 : Larve de Trichoptère .....	16
Figure 4 : Larve d'Hétéroptère.....	17
Figure 5 : Larve d'Odonate.....	20
Figure 6 : Images des Décapodes .....	22
Figure 7 : Carte hydrologique de la zone d'étude montrant les différentes stations d'échantillonnage.....	32
Figure 8 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Métyi.....	33
Figure 9 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Bengo .....	34
Figure 10 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau sounou .....	35
Figure 11 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Lo'o.....	36
Figure 12 : Shéma simplifié de la carte auto-organisatrice de Kohonen .....	45
Figure 13 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de température dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	51
Figure 14 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des TDS dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	54
Figure 15 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des MES dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	57
Figure 16 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la turbidité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	60
Figure 17 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la couleur dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	63
Figure 18 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de pH dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	66
Figure 19 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des teneurs moyennes en oxygène dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	69
Figure 20 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la conductivité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	72
Figure 21 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'alcalinité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	75
Figure 22 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des nitrates dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	78

Figure 23 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des orthophosphates dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	81
Figure 24 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'ammonium dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	84
Figure 25 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes du gaz carbonique dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	87
Figure 26 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'oxydabilité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	90
Figure 27 : Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des différentes stations réalisée à partir des variables physicochimiques pendant la période d'étude .....	91
Figure 28 : Analyse en Composante principale des variables physicochimiques pendant la période d'étude .....	93
Figure 29 : Coefficient de corrélation des paramètres physicochimiques indiquant le poids des diverses variables initiales suivant les deux premières composantes principales .....	93
Figure 30 : Abondance relative des classes de MIB récoltées dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.....	94
Figure 31 : Abondance relative des ordres (A) et abondance totale des familles (B) de MIB dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.....	95
Figure 32 : Abondance relative globale des MIB (A) et abondance relative des ordres de MIB (B) récoltés à chaque saison dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	97
Figure 33 : Abondance relative des MIB (A) et des ordres de MIB (B) dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	99
Figure 34 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Métyi pendant la période d'étude .....	101
Figure 35 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Métyi pendant la période d'étude. ....	101
Figure 36 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Bengo pendant la période d'étude. ....	105
Figure 37 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Bengo pendant la période d'étude. ....	105
Figure 38 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Sounou durant la période d'étude .....	109
Figure 39 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Sounou pendant la période d'étude.....	109



Figure 40 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Lo'o pendant la période d'étude .....	113
Figure 41 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Lo'o pendant la période d'étude. ....	113
Figure 42 : Fréquence d'occurrence des taxons de MIB dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.....	116
Figure 43 : : Fréquence d'occurrence des taxons de macroinvertébrés benthiques récoltés dans chaque cours d'eau.....	121
Figure 44 : Fréquence d'occurrence des taxons de macroinvertébrés benthiques récoltés dans chaque station d'échantillonnage pendant la période d'étude. ....	122
Figure 45 : Fréquence d'occurrence des taxons de MIB par saison.....	123
Figure 46 : Variation temporelle de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'étude.....	124
Figure 47 : Variation spatiale de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'étude.....	125
Figure 48 : Variation saisonnière de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'étude.....	126
Figure 49 : Variation de l'abondance relative ainsi que la richesse taxonomique des différents groupes trophiques identifiés dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	127
Figure 50 : Variation spatiale de l'abondance relative (A) ainsi que la richesse taxonomique (B) des différents groupes trophiques identifiés dans les différents cours d'au pendant la période d'étude .....	128
Figure 51 : Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des stations d'échantillonnage réalisée à partir des taxons de MIB récoltés dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.....	129
Figure 52 : L'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) des taxons Omniprésents, réguliers et constants des MIB avec les paramètres abiotiques. ....	131
Figure 53 : Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée à partir des variables biologiques de l'ensemble du bassin, durant la période d'étude .....	133
Figure 54 : Classification hiérarchique ascendante des 72 cellules et composition des 3 groupes de stations .....	134
Figure 55 : Répartition des échantillons sur la carte de Kohonen à partir de la composition taxonomique.....	135
Figure 56 : Profil de distribution des taxons dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude .....	136

## ***LISTE DES TABLEAUX***

Tableau I : Rapport entre la conductivite et la mineralisation .....	<b>8</b>
Tableau II : Regime alimentaire des macroinvertebres .....	<b>22</b>
Tableau III : Synthèse bibliographique de quelques familles de macroinvertébrés benthiques.....	<b>25</b>
Tableau IV : Echelle granulométrique de Malavoi et Souchon .....	<b>37</b>
Tableau V : Données granulométriques des stations pendant la période d'étude.....	<b>48</b>
Tableau VI : Caractérisation granulométrique et sédimentométrique des stations.....	<b>48</b>
Tableau VII : Richesse taxonomique des MIB dans le cours d'eau Metyi .....	<b>102</b>
Tableau VIII : Richesse taxonomique des MIB recoltés dans le cours d'eau Bengo.....	<b>105</b>
Tableau IX : Richesse taxonomique des MIB recoltés dans le cours d'eau Sounou .....	<b>109</b>
Tableau X : Richesse taxonomique des MIB dans le cours d'eau Lo'o.....	<b>114</b>
Tableau XI : Liste des taxons selon la fréquence d'occurrence.....	<b>116</b>
Tableau XII : Composition taxonomique des groupes définis par la SOM.....	<b>140</b>
Tableau XIII : Valeur indicatrice (IndVal) des taxons .....	<b>144</b>
Tableau XIV : Valeur indicatrice (IndVal) des taxons par combinaison de groupes.....	<b>145</b>

## RESUME

Une étude visant à collecter les données sur la diversité et la structure des macroinvertébrés benthiques afin d'établir une carte de santé des cours d'eau dans cette région a été diligentée dans le Département de la Mvila. De décembre 2018 à décembre 2019 soit 13 mois d'échantillonnage, l'étude s'est focalisée sur 4 cours d'eau choisis dans deux localités différentes pour un total de 12 stations d'échantillonnage. Les analyses physicochimiques et la collecte des macroinvertébrés benthiques ont été faites par des méthodes standards suivant une fréquence mensuelle. Les résultats des analyses physicochimiques révèlent que les eaux sont faiblement acides, peu minéralisées, avec une oxygénation satisfaisante. Elles sont également très peu chargées en matières azotées avec des faibles valeurs des indicateurs de la pollution organique. Ces résultats permettent de dire que sur le plan physicochimique, les eaux des différents cours d'eau sont de qualité écologique satisfaisante. Un total de 174 taxons de macroinvertébrés benthiques a été identifié et dénombré, repartis en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 5 classes (Crustacés, Insectes, Gastéropodes, Bivalves et Oligochètes), 11 ordres, et 62 familles. Cette faune macrobenthique est dominée par les insectes qui représentent 63,67 % d'abondance relative, suivis des crustacés avec 33,29 % d'abondance relative et enfin des gastéropodes, des bivalves et des oligochètes. 7828 macroinvertébrés benthiques ont été récoltés donc 1313 individus dans le cours d'eau Métyi (soit 16,77 % d'abondance relative), 1657 individus dans le cours d'eau Bengo (soit 21,17 % d'abondance relative), 3185 individus dans le cours d'eau Sounou (soit 40,69 % d'abondance relative) et 1673 individus dans le cours d'eau Lo'o (soit 21,37 % d'abondance relative). Les indices de diversité de Shannon & Weaver, l'Equitabilité de Piélou ainsi que l'indice de Simpson révèlent un peuplement de macroinvertébrés riche, diversifié et reparti équitablement dans l'ensemble des cours d'eau. La caractérisation biologique réalisée à partir de l'Analyse en Composante Principale (ACP) et l'Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) montre que les 12 stations sont regroupées sur la base de leurs organismes en trois groupes. L'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) a permis de mettre en évidence les paramètres environnementaux qui influencent la distribution des MIB dans les différents cours d'eau. La méthode IndVal a permis d'identifier 39 taxons indicateurs significatifs dont quatre, qui peuvent être considérés comme étant les meilleurs indicateurs des conditions du milieu : il s'agit notamment de *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, (ordre des Décapodes), *Rhagovelia* sp et *Ranatra*

*linearis* (ordre des Hétéroptères). Sur le plan trophique, les prédateurs dominent le peuplement de MIB en abondance relative, mais en terme de richesse taxonomique, les détritivores sont les plus diversifiés.

**Mots clés :** Macroinvertébrés benthiques, richesse taxonomique, qualité écologique, région du Sud, taxon indicateur, paramètres environnementaux.

## ABSTRACT

A study aimed at collecting data on the diversity and structure of benthic macro invertebrates in order to establish a health map of the rivers in this region was carried out in the Mvila division. Ranging from December 2018 to December 2019 that is 13 months of sampling, the study focused on 4 rivers chosen in two different localities for a total of 12 sampling stations. The physicochemical analyzes as well as the collection of benthic macroinvertebrates were carried out by standard methods on a monthly basis. The results of the physicochemical analyzes revealed that the water are low acidic, not very mineralized, with satisfactory oxygenation. They are also very low in nitrogenous matter with low values of organic pollution indicators. These results allow to say that, on the physicochemical level, the waters of the different rivers are of satisfactory ecological quality. A total of 174 taxa of benthic macroinvertebrates have been identified and counted, divided into 3 phyla (Arthropods, Molluscs and Annelids), 5 classes (Crustaceans, Insects, Gastropods, Bivalves and Oligochaetes), 11 orders, and 62 families. This macrobenthic fauna is dominated by insects which represent 63.67% relative abundance, followed by crustaceans with 33.29% relative abundance and finally gastropods, bivalves and oligochaetes. 7828 benthic macroinvertebrates were collected therefore, 1313 individuals in the Métyi stream, (16.77% relative abundance), 1657 individuals in the Bengo stream (21.17% relative abundance), 3185 individuals in the Sounou stream, (40.69% relative abundance) and 1673 individuals in the Lo'o stream (21.37% relative abundance). The diversity indices of Shannon & Weaver, the Equitability of Piélou as well as the index of Simpson reveal a population of macroinvertebrates which is rich, diversified and equitably distributed in all the rivers. The biological characterisation carried out from the Principal Component Analysis (PCA) and the Hierarchical Classification Analysis (HCA) shows us that the 12 stations could be grouped on the basis of their organisms into three groups. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) allowed us to highlight the environmental parameters that influence the distribution of benthic macro invertebrates in the different rivers. The IndVal method allowed us in this study to identify 39 significant indicator taxa among which four taxa can be considered as the best indicators of environmental conditions. These include *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, (Decapoda), *Rhagovelia* sp and *Ranatra linearis* (Heteroptera). Trophically, predators dominate the benthic macroinvertebrates

population in relative abundance, but in terms of taxonomic richness, detritivores are the most diverse.

**Keywords:** Benthic macroinvertebrates, taxonomic richness, ecological quality, southern region, indicator taxon, environmental parameters.



# **INTRODUCTION**

La molécule communément appelée « eau », est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe terrestre. Cette substance constitue l'hydrosphère et recouvre près de 66,67% de la surface de la terre (Shiklomanov et Rodda, 2003 ; Peter *et al.*, 2010). Mais si l'eau est abondante sur la terre, l'eau douce qui ne représente qu'environ 2,53% du volume total demeure la seule qui soutient la vie terrestre (Lefèvre, 2013). De nos jours, l'utilisation globale de l'eau à travers les usages domestiques, industriels et agricoles, représente le chiffre impressionnant de 250 m<sup>3</sup> /an/habitant.

Depuis le 19<sup>e</sup> siècle, les cours d'eau dans les pays industrialisés, sont gravement affectés par différents types de pollution (industrielle, urbaine et agricole) (Boissonneault, 2006). Tandis que dans les pays en voie de développement, la croissance exponentielle de la population couplée à une urbanisation anarchique des différentes villes entraînent une dégradation poussée des hydrosystèmes. Etant donné que les cours d'eau dans ces pays tout comme dans d'autres pays du globe, subissent quotidiennement des perturbations diverses dues à la nature elle-même et à l'anthropisation galopante des milieux naturels (Foto Menbohan *et al.*, 2006 ; Tchakonté, 2016). A cet effet, il devient impératif pour les gouvernements de prendre en compte la gestion de l'eau et des écosystèmes aquatiques (Culioli *et al.*, 2004), notamment avant toute action de développement économique et d'aménagement du territoire.

Pour évaluer les risques susceptibles d'affecter les milieux aquatiques, deux outils sont souvent utilisés (Koudenoukpo *et al.*, 2017). Le premier outil, le plus ancien et le plus utilisé encore aujourd'hui, est l'analyse physicochimique. Ce procédé analytique est basé d'une part, sur la recherche de substances polluantes dans les eaux et, d'autre part, sur le relevé des variables hydrologiques et physicochimiques caractérisant le milieu. Cet outil ne permet malheureusement pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème. En effet, les analyses physico-chimiques ne reflètent qu'un état ponctuel de la qualité de l'habitat et n'évaluent donc pas les effets des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection (Kengne Fotsing, 2018). Le second outil élaboré utilise les organismes biologiques (Koudenoukpo *et al.*, 2017). Cet outil basé sur les communautés biologiques a permis à plusieurs pays de dresser des cartes de santé des systèmes aquatiques afin d'envisager des mesures correctives permettant de restaurer la qualité des systèmes déjà pollués.

Qu'il soit biologique ou physicochimique, il est nécessaire d'avoir à sa disposition le bon outil d'évaluation. Cependant, l'outil idéal permettant d'évaluer la pollution décrit par Cook (1976), qui se voudrait à la fois sensible aux effets de la pollution sur les communautés aquatiques, applicables généralement aux différents types de cours d'eau, et qui est capable de donner une évaluation continue des conditions non polluées jusqu'aux conditions polluées, et qui de plus permettrait une acquisition des données et un calcul aisé, n'existe pas encore (Koudenoukpo et al., 2017).

Ainsi, les programmes de suivi-évaluation intégrant le matériel biologique, ont vu le jour en Europe au début du 20<sup>e</sup> siècle, au moment où la dégradation des écosystèmes était devenue une menace pour la santé des populations humaines. C'est donc à juste titre que la DCE (Directive Cadre des Eaux) définit le bon état d'une eau de surface quand son état chimique et son état écologique sont au moins bons. Ce bon état est défini comme un écart « léger » à une situation de référence, correspondant à des milieux non ou très faiblement impactés par l'homme. L'état écologique intègre des paramètres biologiques et des paramètres chimiques (polluants spécifiques) ainsi que des paramètres physicochimiques et hydromorphologiques soutenant les paramètres biologiques. Il se décline en cinq classes (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais) (Poncet, 2014). Les éléments de qualité biologique (EQB) à intégrer dans l'évaluation de l'état écologique permettent d'obtenir une vision globale du fonctionnement des cours d'eau en prenant en compte la quasi-totalité de la chaîne trophique. Les communautés aquatiques végétales et animales (invertébrés et poissons) deviennent des *juges de paix* (Roche et al., 2005), le bon état écologique se comprenant alors comme le bon fonctionnement écologique.

Parmi les communautés biologiques utilisées pour la surveillance des milieux aquatiques, les macroinvertébrés sont plus fréquemment cités. Ces organismes présentent l'avantage d'être le plus souvent tributaires d'un milieu, de répondre rapidement aux stress et de constituer un des premiers maillons de la chaîne alimentaire dans ces cours d'eau (Goaziou, 2004). De plus il existe une certaine rémanence chez ces organismes qui leur permet de témoigner de pollutions plus ou moins anciennes. Leurs durées de vie est aussi différent, relativement long de l'ordre de plusieurs années pour les macroinvertébrés benthiques (Henri et al., 2010) et de quelques semaines pour le zooplancton (Zébazé Togouet, 2000). Toutes ces qualités valent aux MIB la qualité de bons indicateurs locaux de la santé des écosystèmes aquatiques (Goaziou, 2004).

Au Cameroun, notamment dans la région du Sud, les cours d'eau sont plus ou moins impactés par les activités anthropiques. Il est donc nécessaire d'établir la carte de santé des cours d'eau dans la région du Sud ceci à travers une évaluation de la diversité et la structure du peuplement des macroinvertébrés. A ce jour, la plupart des travaux effectués dans les régions du Centre, Littoral, Ouest, Est, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Adamaoua font état de distribution des macroinvertébrés benthiques en rapport avec la qualité des eaux dans divers cours d'eau. De ces travaux, il en ressort que les cours d'eau forestiers sont exempts de pressions anthropiques et sont de ce fait de bonne qualité écologique. A contrario, les cours d'eau périurbains et urbains sont plus ou moins influencés par les activités humaines et leur état de santé dépend du niveau d'anthropisation du bassin.

## **PROBLEMATIQUE**

Malgré ces différents travaux, L'écologie des macroinvertébrés reste très mal connue dans la Région du Sud-Cameroun.

## **OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Partant du principe selon lequel les cours d'eau sont des réceptacles terminaux des matériaux de divers écosystèmes, leur intégrité écologique étant fondée sur l'intégrité biologique qui rassemble les composantes chimiques et physiques. Afin de vérifier cette intégrité écologique, notre travail s'est fixé pour objectif principal d'établir la distribution des macroinvertébrés benthiques dans quelques cours d'eau en rapport avec les variations des paramètres écologiques du milieu dans la région du Sud-Cameroun. Plus spécifiquement, il s'est agi de :

- ❖ Déterminer les paramètres physicochimiques et géomorphologiques des eaux de quelques cours d'eau dans le département de la Mvila, région du Sud ;
- ❖ identifier et dénombrer les taxa de macroinvertébrés benthiques de ces cours d'eau ;
- ❖ évaluer l'influence de quelques facteurs écologiques sur la distribution des communautés de macroinvertébrés benthiques.

La présente thèse est structurée en trois chapitres. Le premier chapitre présente la revue de la littérature, le deuxième chapitre traite du matériel et des méthodes utilisées et le troisième présente les résultats, suivis d'une discussion. Cette thèse s'achève par une conclusion suivie de recommandations et des perspectives.

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

## **I.1- Hydrosystèmes d'eau douce**

Les écosystèmes d'eau douce constituent d'importants réservoirs de biodiversité et sont, à ce titre, extrêmement sensibles au changement global (Heino *et al*, 2009). En effet, ils jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité terrestre, services écologiques, régulation et épuration de l'eau, énergie renouvelable (...). Si les conventions internationales et les directives européennes protègent certains types d'espèces et d'habitats, la directive cadre eau (DCE) demande le retour au bon état écologique (qualité et connectivité) de toutes les masses d'eau. Ces mesures (maintien des régimes hydrologiques, renaturation des cours d'eau, réhabilitation et conservation des zones humides) devraient permettre aux hydrosystèmes de supporter les impacts du changement global (Baglinière, 2013).

Le concept de connectivité pris en compte par la DCE pour les masses d'eau permet de décrire une continuité de structure et de fonction à travers les trois dimensions de l'espace et le temps (Amoros & Bornette, 2002). Il est considéré comme un indicateur de l'état de santé du cours d'eau puisque la perte de connectivité se traduit par une forte érosion de la biodiversité (Bannerman, 1997).

Dans le cas de ces écosystèmes, il est particulièrement difficile de distinguer les effets du changement climatique de ceux des pressions anthropiques locales. Ainsi, les aménagements humains au sein des réseaux hydrographiques (barrages, artificialisation des berges, prélèvements d'eau, pollution, eutrophisation, sédimentation, etc.) vont dans la plupart des cas conduire à une aggravation de certains des processus entraînés par le changement climatique, comme l'augmentation de la température de l'eau et la modification des débits, la dégradation des zones humides riveraines et littorales (McCormick *et al*, 2009 ; Scheurer *et al*, 2009). Il est ainsi relativement délicat de déterminer la part de chacun de ces facteurs dans les pressions que subissent ces écosystèmes (Baglinière *et al*, 2010).

## **I.2- Caractérisation physico-chimique des cours d'eau**

La caractérisation des cours d'eau repose sur la mesure d'un certain nombre de paramètres physiques et chimiques ou à l'aide des indices de qualité. Les paramètres physico-chimiques permettent d'évaluer l'état de santé des eaux à un instant précis sur la base des grilles de qualité préétablies. Ces grilles sont généralement construites sur la

base d'une évaluation de l'état écologique des eaux c'est-à-dire leur aptitude à héberger des organismes indicateurs de la bonne santé. Parmi les paramètres physico-chimiques mesurés, nous pouvons citer entre autres la température, la turbidité, les solides totaux dissous (DTS), les matières en suspension (MES), la couleur, la conductivité, le pH, l'oxygène dissous, l'Alcalinité totale, l'Ammonium, les nitrates, les nitrites, les phosphates et la DBO<sub>5</sub> (Mary, 1999; Mary *et al.*, 2011).

- La température (en °C) est un facteur écologique clé des eaux courantes (Angelier, 2000). Elle influence le cycle de développement et la croissance des espèces, ainsi que leur répartition géographique (Boukli Hacen, 2012). Par son effet sur la solubilité des gaz dissous dans l'eau (Rodier, 2009), elle contribue à la croissance, au broutage et à la reproduction chez la majorité des organismes aquatiques (Arrignon, 1998). Chaque espèce ayant un préférendum thermique, ceci met en exergue le rôle physiologique de la température dans la composition d'un peuplement (Pourriot *et al.*, 1997). L'impact de la température sur les milieux lotiques dépend de la latitude, de l'altitude, de la saison, de la profondeur et de la largeur des cours d'eau (Rodier *et al.*, 2009). De même, elle contrôle les taux de saturation en oxygène dissous des milieux aquatiques, ainsi que les processus écologiques (Hannah et Gardner, 2015).

- Les MES (en mg/l), la couleur (en Pt.Co) et la turbidité (en FTU) sont des paramètres liés dans la mesure où les particules solides sont responsables de la turbidité et du colmatage des fonds, ce qui influence la couleur des eaux. En effet, ces particules en suspension entravent la pénétration de la lumière, ralentissant ainsi les activités photosynthétiques qui fournissent l'oxygène dans le milieu aquatique, favorisant l'auto-épuration (Cairns, 1978). Ces particules causent la mort des organismes benthiques et certains œufs des poissons frayant sous les graviers par colmatage des sédiments de fond (Tuffery, 1980). La teneur élevée en MES est généralement liée aux séquences hydrologiques (crues et étiages) qui précèdent un prélèvement (Fontvieille, 1987).

- Le pH (en UC) qui indique la basicité ou l'acidité d'une eau (Rodier *et al.*, 2009) est aussi bien influencé par la nature géologique des sols traversés, par la décomposition de la matière organique, ainsi que par les apports du bassin versant dûs aux pluies, ce qui affecte l'activité biologique (Jullian *et al.*, 2005 ; Serghini *et al.*, 2010). D'après Angelier (2000 et 2003), la plupart des espèces aquatiques tolèrent des valeurs de pH comprises entre 5 et 9, plus favorables au développement des organismes. Des pH faibles (eaux

acides) augmentent notamment le risque de présence des métaux sous une forme ionique plus toxique, alors que des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxiques pour les poissons (Devillers *et al.*, 2005).

- L'oxygène dissous (en %) est un paramètre très important de la qualité des eaux. Il joue un rôle prépondérant dans l'autoépuration et le maintien de la vie aquatique (EL Morhit, 2009). Dans les conditions écologiques normales, cet élément représente 75 % des gaz dissous, mais lorsqu'il est en-deçà de 50%, la situation du milieu devient critique (Foto Menbohan et Njiné, 1991). Sa concentration dans les eaux courantes dépend des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère, mais aussi, de la photosynthèse, de la respiration (boucle microbienne) ainsi que de la minéralisation de la matière organique (Fawsi *et al.*, 2001), favorisant à l'interface eau/sédiments, l'installation des communautés benthiques (Devidal *et al.*, 2007). De même, la teneur d'une eau en oxygène peut favoriser la production de l'eau potable en cas de débit acceptable (Foto Menbohan *et al.*, 2013).

- Dans les hydrosystèmes, l'azote (en mg/l) se trouve sous forme organique, d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), ou associé à d'autres composés (CEAEQ, 2007). Dans les eaux naturelles, l'azote provient du sol et de la minéralisation de la nécromasse. Toutefois, l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement de l'eau en cet élément par les apports des effluents urbains et industriels, les rejets d'eaux usées domestiques, le lessivage des sols agricoles fortement enrichis en engrais et en pesticides (Jullian *et al.*, 2005; Jain, 2012; Bhat *et al.*, 2013). D'après le CEAEQ (2007), la teneur en ions  $\text{NH}_4^+$  est très élevée dans les eaux riches en matières organiques lorsque le pourcentage de saturation en oxygène est insuffisant pour assurer son oxydation en nitrates. De plus, une augmentation excessive de la température transforme l'ion  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  qui est toxique pour de nombreux organismes (Kourradi, 2007). Quant aux nitrites, c'est la forme intermédiaire de l'azote qui ne se maintient dans les eaux courantes que lorsque le milieu est insuffisamment oxygéné et leur rémanence indique un état de pollution organique (Foto Menbohan, 2012). Les orthophosphates ou « phosphore réactif » représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Une concentration élevée des eaux en azote est indicatrice d'une pollution par les eaux vannes et les effluents industriels contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques (INRA, 2005). Les fortes teneurs en orthophosphates entraînent généralement des blooms algaux avec pour conséquence une réduction de



l'éclairement en profondeur, l'anoxie nocturne, les variations diurnes de pH et à long terme, l'eutrophisation (Devidal *et al.*, 2007).

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

- la conductivité (exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) électrique exprime la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. L'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, contrairement à une eau chargée en sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium) d'origine naturelle ou polluante. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. La relation entre la conductivité électrique et la minéralisation est donnée par le tableau I suivant :

Tableau I : Rapport entre la conductivite et la mineralisation (Rodier, 1996).

Conductivité électrique	Minéralisation
0-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
100-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
200-333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
333-666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation accentuée
666-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

### I.3- Caractérisation biologique des cours d'eaux

#### I.3.1- Macroinvertébrés benthiques

Les invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de squelette, osseux ou cartilagineux. Parmi ces animaux dépourvus de colonne vertébrale, les macroinvertébrés rassemblent étymologiquement les invertébrés observables à l'œil nu. Toutefois, leur identification nécessite le plus souvent l'utilisation d'une loupe binoculaire.

De façon pratique, le préfixe « macro » désigne les organismes visibles à l'œil nu, qui sont piégés dans des filets dont les mailles mesurent environ 200 à 500  $\mu\text{m}$  (Rosenberg & Resh, 1993). Les macroinvertébrés aquatiques sont des organismes qui

vivent dans l'eau. Sont inclus dans cette catégorie, les organismes dont la majeure partie du cycle de vie ou bien une partie au moins se déroule dans l'eau. Ils sont retrouvés dans tous les types de milieux aquatiques d'eau douce, bien qu'ils soient faiblement représentés dans la zone pélagique des lacs (la famille des Chaoboridae étant l'exception notable). En revanche, dans les autres compartiments d'eau douce, ils forment des communautés importantes (Lalonde & Downing, 1992). Les macroinvertébrés regroupent principalement les insectes, les crustacés, les mollusques (gastéropodes et bivalves surtout) et les annélides (vers). Les insectes, groupe taxonomique le plus diversifié, sont composés de larves et de quelques adultes aquatiques, les principaux ordres étant les Ephéméroptères, les Plécoptères, les Odonates, les Hémiptères, les Lépidoptères, les Coléoptères, les Trichoptères, les Diptères, les Mégaloptères (Gagnon & Pedneau, 2006) et les Dictyoptères (Biram *et al.*, 2018). Les insectes aquatiques représentent près de 80% de tous les macroinvertébrés présents en zones lotique et lentique (Yapo *et al.*, 2012). Dans les systèmes lenticques, les communautés de macroinvertébrés se distinguent en deux principaux groupes (Pöllabauer & Bargier, 2004) :

- les macroinvertébrés benthiques, vivant sur le fond, comprennent des groupes tels que les Ephéméroptères, les Odonates, les Mollusques, les Vers, les Trichoptères, les Diptères, etc. ;
- les macroinvertébrés pélagiques et de surface tels que les Hétéroptères (punaises aquatiques), sous-ordre des Hémiptères, les Coléoptères, les Acariens qui restent une partie du temps en surface ou font des va-et-vient entre la surface et le fond.

### **I.3.2- Importance des macroinvertébrés dans le flux de carbone**

Les communautés d'invertébrés sont présentes dans l'ordre de milliers d'individus par m<sup>2</sup> dans le fond des écosystèmes aquatiques. Elles sont présentes aussi bien sur et sous les pierres, dans les sables, graviers, vases, litières, mais également sur les touffes de végétaux, les racines ainsi que sur les tiges, les feuilles ou branchages. Leur répartition est fortement influencée par la nature du substrat et la vitesse d'écoulement de la colonne d'eau (Palmer *et al.*, 1997 ), entraînant une répartition des invertébrés sous forme de mosaïques (Death, 1995 ).

Les macroinvertébrés benthiques constituent également une composante importante du régime alimentaire de plusieurs espèces de poissons, insectes et amphibiens (Toft *et al.*, 2003, Konan *et al.*, 2008; Diomandé *et al.*, 2009a). Ainsi, ils jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire aquatique. De ce fait, les macroinvertébrés sont responsables en particulier de la conversion des productions algales et bactériennes hétérotrophes en biomasse animale. Ils doivent donc être présents en quantité suffisante et avec une diversité importante pour maintenir l'hydrosystème en équilibre fonctionnel et en bonne santé (Chessman, 1995). Par exemple, les Trichoptères, surtout au stade immature, et les Ephéméroptères sont une source importante de nourriture pour de nombreux poissons d'eau douce constituant de ce fait un puissant régulateur des populations d'invertébrés aquatiques (Wetzel, 2001). Ainsi, Fatet *et al.* (2018) ont indiqué que le régime alimentaire du barbeau était composé d'insectes (Ephemeroptères, Coleoptères, Diptères, Odonates, Trichoptères, Hymenoptères), de Nématodes (Annelides, Oligochaetes, de mollusques (Gasteropodes, physidae, Lymnacidæ) et de zooplancton (Copepodes, Cladocères) (...). Les Odonates jouent, pour leur part, un rôle important au niveau du contrôle des populations de moustiques, de moucherons et autres petits insectes qu'ils consomment abondamment tout au long de leur vie (Borror & White, 1999). Les macroinvertébrés benthiques sont donc un élément clé pour le maintien de l'équilibre des écosystèmes aquatiques.

### **I.3.3- Importance des MIB dans l'évaluation de la qualité de l'eau**

La bioindication au sens large se réfère à la capacité d'organismes ou d'un ensemble d'organismes à révéler par leur présence, leur absence ou leur comportement démographique les caractéristiques et l'évolution d'un milieu (Blandin, 1986). Ces êtres vivants sont alors qualifiés de bioindicateurs. En comparaison avec les données chimiques qui donnent un état ponctuel de la qualité des eaux, le contrôle biologique offre un moyen relativement abordable de mesure environnementale pour l'évaluation de la dégradation des habitats aquatiques et de la perte de la diversité biologique induite par les perturbations anthropiques (Karr, 1991). Ces méthodes biologiques permettent d'évaluer la qualité des cours d'eau à l'aide des macroinvertébrés benthiques en considérant les changements physiologiques et morphologiques des individus à différentes mesures de structure des communautés (Rosenberg & Resh, 1993).

La surveillance biologique des communautés benthiques est aujourd'hui l'outil le plus sensible pour détecter de façon rapide et précise les perturbations dans les biocénoses aquatiques (Cairns & Pratt, 1993a). Cependant, l'élaboration de méthodes de bioévaluation de la qualité des eaux nécessite une bonne connaissance des invertébrés et de leur sensibilité par rapport à divers polluants (Norris & Georges, 1986). Les macroinvertébrés benthiques (faune d'invertébrés de taille > 0,1 mm vivant sur le fond des cours d'eau) sont à l'origine de nombreux indices biotiques pour la plupart basés sur l'abondance ou la richesse d'un certain nombre de groupes taxonomiques indicateurs (Rosenberg & Resh, 1993; Metcalfe-Smith, 1996). Les macroinvertébrés benthiques constituent un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums. Cette grande diversité de formes confère à ce groupe une grande diversité de réponses potentielles aux perturbations, ce qui fait de ce groupe de bons candidats pour la bioévaluation (Rosenberg & Resh, 1993). Le choix des macroinvertébrés benthiques se justifie par les avantages qu'ils ont de se trouver sur tous les types de substrats à toutes les saisons, en plus de vivre pour certains, inféodés à quelques types de microhabitats, avec des déplacements actifs réduits à quelques dizaines de mètres. Ils n'ont donc pas d'autre choix, mis à part une certaine dérive, que de subir les perturbations soit en résistant, soit en mourant (Cook, 1976). Ces organismes ont une durée de vie assez longue, forment des communautés diversifiées et sont généralement abondants (Metcalfe, 1989). De plus, ils présentent une sensibilité différentielle face aux différents stress telle la pollution ou la modification de l'habitat auxquelles ils réagissent rapidement. En outre, ils sont facilement prélevables et la taxonomie est bien connue. Les macroinvertébrés benthiques sont donc un groupe très fréquemment utilisé (Friedrich *et al.*, 1992 ; Bonada *et al.*, 2006).

L'approche indicielle (basée sur l'abondance et/ou de la richesse taxonomique) est la plus communément utilisée en bioévaluation (Dolédéc *et al.*, 1999; Bady *et al.*, 2005). Cependant la validité de ces indices dépasse difficilement les limites du contexte national, voire régional, dans lequel ils sont définis (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000). Les méthodes indicielles classiques (AFNOR, 2004) transformant les observations biologiques en notes réduisent l'information écologique et peuvent introduire des biais dans la bioévaluation (Cao *et al.*, 2005). En effet, les indices biotiques ou indices de diversité intègrent mal les fluctuations naturelles temporelles et spatiales des communautés vivantes (Charvet *et al.*,

1998a ). Il y a donc un besoin de nouveaux indicateurs plus intégrateurs dit « community-based indicators » afin de mieux répondre à la DCE (Mouillot *et al.*, 2006). L'intégration des traits bio-écologiques permettrait de montrer des liens plus forts entre bioévaluation et fonctionnement des écosystèmes que ce qui peut être réalisé avec des méthodes basées seulement sur la taxonomie (Van den Brink *et al.*, 2011).

### **I.3.4- Bioécologie et approche anatomique de quelques groupes de macroinvertébrés benthiques**

#### **I.3.4.1- Ephéméroptères**

Les éphéméroptères sont des insectes archaïques présentant des caractères primitifs ayant une métamorphose incomplète (hémimétabole) (Grassé *et al.*, 1970) c'est-à-dire qu'il n'y a pas de stade immobile entre la larve aquatique et l'adulte qui est aérien (Hoarau et Hoareau, 1999). Ils appartiennent à un ordre d'insectes dont les larves sont exclusivement aquatiques.

Les larves d'Ephémères sont reconnaissables parmi les autres larves d'Insectes aquatiques par la présence sur l'abdomen de branchies et de deux cerques et d'un paracerque, ce dernier pouvant manquer (Figure 1). La tête porte latéralement ou dorsalement près de la marge postéro-latérale deux yeux composés de taille moyenne, ainsi que trois ocelles. On observe deux antennes situées sous les yeux. Le prothorax est très étroit, le mésothorax est le plus développé et le métathorax ne l'est que moyennement. Le thorax porte trois paires de pattes classiques avec cependant un tarse d'une seule pièce terminé par une griffe. Les pattes sont parfois modifiées pour assurer certaines fonctions telles le fouissage, la filtration ou la protection des branchies. L'abdomen comprend dix segments. Certains des segments abdominaux portent latéralement ou dorsalement, parfois ventralement des trachéobranches (généralement sept paires) à rôle respiratoire, parfois pulsatoire, insérées la plupart du temps sur le bord postérieur des tergites. Le 10<sup>e</sup> segment abdominal porte deux cerques symétriques entre lesquels est situé, chez la majorité des espèces, un paracerque ou filament caudal. Paracerques et cerques sont munis ou non d'épines et de longues soies (Elouard & Gibon, 2001).

Les larves subissent de nombreuses mues, allant d'une dizaine à une quarantaine selon les espèces. Les durées de développement varient entre trois et six mois, parfois plus, atteignant plus de deux ans chez certaines espèces d'eaux très froides, arctiques ou

alpines. Les espèces peuvent être monovoltines (cas de la majorité des Ephemeroidea), bivoltines ou plurivoltines (Elouard & Gibon, 2001).

La majorité des espèces émergent tout au long de l'année, avec des périodes préférentielles au début et à la fin de la saison des pluies. Les adultes émergents, appelés subimagos, subissent un pseudo mue, qui n'est en réalité qu'un délitement de leur épiderme ; ce phénomène est le seul cas connu chez les Insectes Ptérygotes. La subimago en muant donne une imago sexuellement mature. La mue imaginale se fait soit instantanément (Caenidae, Tricorythidae, Oligoneuriidae, Ephemeroidea), soit après une à deux heures (Baetidae, Teloganodidae). Les Heptageniidae font exception puisqu'elles mettent un à trois jours pour passer de la subimago à l'imago. La vie imaginale est généralement très courte, variant de quelques dizaines de minutes (Caenidae, Tricorythidae) à quelques heures. Les mâles meurent juste après l'unique accouplement; les femelles meurent après la fin de la ponte. Les adultes sont réduits à des sacs ailés chargés d'assurer la reproduction sexuée ou parthénogénétique, en transportant sperme et œufs. Selon les genres et espèces, les mâles volent en constituant des essaims d'accouplement dans lesquels se rendent les femelles pour être fécondées. Toutefois, certains groupes ne pratiquent pas cette stratégie. Les femelles des Tricorythidae, par exemple, remontent les cours d'eau et les mâles les rejoignent pour s'accoupler. Certaines espèces sont partiellement ou totalement parthénogénétiques. (Elouard & Gibon, 2001).

Leur mode d'alimentation est varié, ils peuvent être broyeurs détritivores, racleurs de substrat, filtreurs et prédateurs. Les éphémères constituent un ordre d'insectes intimement lié à la vie aquatique. Ils sont très sensibles tant aux pollutions qu'aux modifications anthropiques des milieux. Ils constituent ainsi un outil de bio monitoring très utilisé car considérés comme indicateurs de la bonne qualité des eaux (Moisan, 2010).

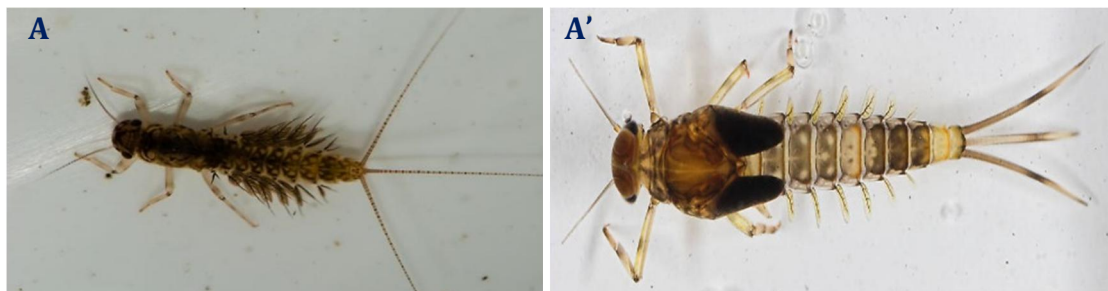


Figure 1 : Larve d'éphéméroptère, A : Ephemerelidae, A' : Baetidae

### **I.3.4.2- Plécoptères**

Les Plécoptères sont des Insectes assez primitifs, un peu plus évolués que les Ephemeroptères. Ce sont comme eux des hétérométaboles (sans métamorphose complète), classés parmi les Hémimétaboles puisque les larves sont morphologiquement sensiblement différentes des adultes du fait qu'elles vivent dans des milieux dissemblables ; les larves sont aquatiques, les adultes aériens. En fait, vu la proximité morphologique des larves et des adultes, ils sont sub-hémimétaboles. Les Plécoptères constituent un petit Ordre d'Insectes contenant environ 1200 espèces (Elouard & Gibon, 2001).

L'aspect général des larves est proche de celui de l'adulte ; les ailes étant remplacées par des fourreaux alaires. Les pièces buccales sont classiques et complètes chez la majorité des familles ; elles sont néanmoins peu robustes. Les mandibules sont classiques, les maxilles portent une galea et une lacinia bien individualisées ainsi qu'un palpe composé de cinq segments. Le labium comprend un large submentum et un prémentum parfois divisé ; glosses et paraglosses sont bien individualisées, le palpe labial est tri segmenté. Le nombre de branchies respiratoires est variable. Elles sont situées au niveau des mentum, submentum, cou, segments thoraciques, premiers segments abdominaux, coxas ou encore sortent de l'anus. Les cerques sont généralement longs et flagelliformes, composés de nombreux segments articulés (Figure 2). Toutefois, chez quelques familles, les cerques sont réduits à un ou deux segments basaux, voire parfois transformés en organes aidant la copulation. Les ébauches alaires apparaissent chez les larves au milieu de leur développement. Elles croissent à chaque mue larvaire pour atteindre leur complet développement au dernier stade. La plupart des imagos sont ailés ; toutefois, certains sont brachyptères voire aptères, caractère souvent lié à un sexe et apparaissant dans les hautes altitudes et latitudes. Les antennes sont longues et filiformes. Les yeux composés sont latéraux et bien développés, il existe trois ocelles. Le corps est aplati dorso-ventralement. Le prothorax est grand et mobile, non divisé. Les trois paires de pattes sont subégales, toujours munies de trois tarsi. L'abdomen comprend dix segments individualisés et un onzième vestigial (Elouard & Gibon, 2001).

La copulation ne se fait pas en vol, mais au repos, le mâle montant sur la femelle. Chez les Perlidae, les œufs sont déjà matures lors de la copulation ce qui fait que la ponte a lieu peu de temps après l'accouplement. Chez les autres familles, la maturation des œufs

chez la femelle prend plusieurs semaines. Les œufs sont nombreux (500 à 1 000), souvent pondus en paquets retenus par un mucus qui fond au contact de l'eau. Les femelles peuvent ainsi pondre des paquets pendant plusieurs semaines. Selon les genres et espèces, les œufs sont pondus en vol ou déposés dans l'eau par immersion de l'abdomen, voire déposés sous l'eau par les femelles qui s'immergent complètement. Le régime alimentaire est variable selon les Familles, genres et espèces. Certaines sont carnivores, telles les Perlidae, se nourrissant de larves d'Ephémères et de Chironomides. La majorité des autres sont principalement des herbivores, se nourrissant de diatomées, d'algues et de mousses. La forme et le développement des pièces buccales sont corrélés avec les régimes alimentaires : les larves herbivores ont de grandes mandibules munies d'une prostheca bien développée, de robustes maxilles et de grandes glosses tandis que les carnivores possèdent des mandibules effilées et pointues, sans prostheca, les maxilles sont plus faibles et les glosses réduites. Certaines espèces ne se nourrissent pas à l'état adulte, dans ce cas, les pièces buccales sont membraneuses et dégénérées. Les Plécoptères sont tous de mauvais voiliers qui ne s'écartent pas des collections d'eau, ni ne font de vols migratoires. La durée de développement des Plécoptères varie selon les genres et espèces, d'une année à trois voire quatre années. Le nombre de mues est généralement important et varie aussi selon les genres et les espèces (Elouard & Gibon, 2001).

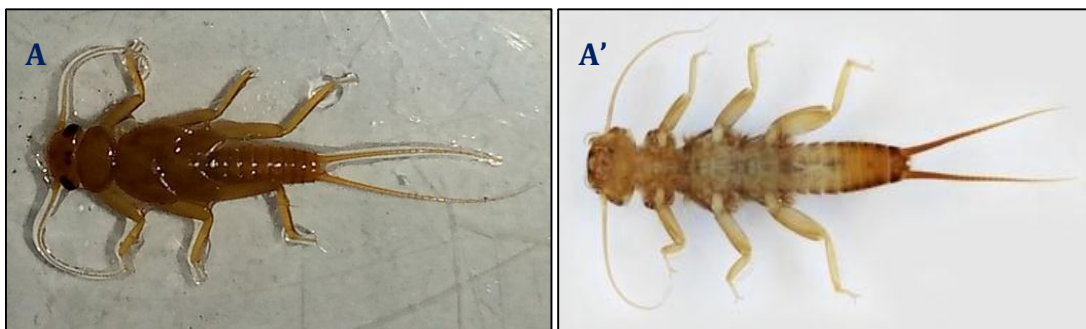


Figure 2 : Larve de Neoperlidae (Plecoptera), A : Vue dorsale, A' : Vue ventrale

#### **I.3.4.3- Trichoptères :**

Les Trichoptères sont des insectes holométaboles dont la plupart des larves sont aquatiques et se cachent dans des fourreaux ornementés, un seul genre Enoicyla de la famille des Limnephidae est adapté à la vie terrestre. Ces insectes ressemblent à des papillons de nuit. Pendant la journée, ils restent immobiles cachés au sein de la végétation. De façon générale, les trichoptères sont sensibles à la pollution (Grac, 1990).



La larve de trichoptère est de type eucéphale et on peut aisément distinguer la tête, le thorax et l'abdomen (Figure 3). Les yeux sont petits avec des simples tâches oculaires, les antennes sont très réduites et les pièces buccales comportent un labre, une paire de mandibules qui s'articulent ventralement et qui portent des soies sur la face interne (Grac, 1990). Le thorax est formé de 3 segments bien individualisés portant chacun une paire de pattes. Le pronotum est toujours entièrement sclérifié, ventralement le prothorax peut porter une ou plusieurs pièces sclérifiées. Le mésonotum est soit membraneux ou sclérifié, ventralement pour le métathorax la disposition est la même que le mésothorax c'est-à-dire soit membraneux ou présenter des tâches sclérifiées. Les pattes sont longues, formées de plusieurs articles à savoir hanche, trochanter, fémur, tibia et tarse composé d'un seul article qui se termine par une griffe. Les pattes pro thoraciques sont courtes et trapues et sont un auxiliaire à l'appareil buccal et servent également à la construction de l'étui. Alors que les pattes méso et métathoraciques servent à la locomotion. (Grac, 1990).

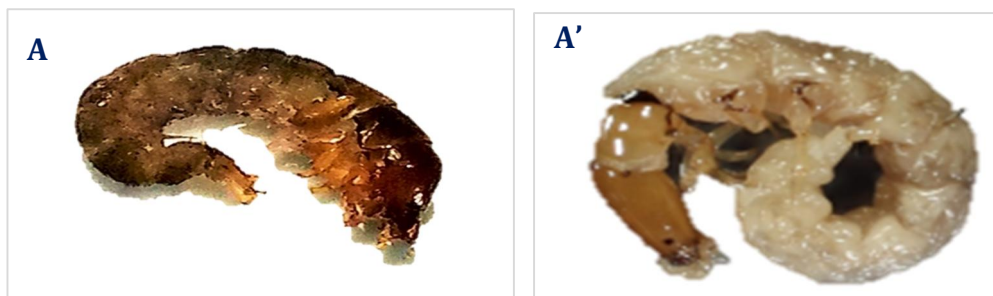


Figure 3 : Larve de Trichoptère, A : Hydropsychidae, A' : Philopotamidae

#### I.3.4.4- Hémiptères

L'ordre des Hémiptères se subdivise en deux sous-ordres, les Hétéroptères et les Homoptères et se caractérisent par la transformation de l'appareil buccal en rostre piqueur-suceur qui comporte deux canaux, un canal pour la salive et un autre pour l'absorption des liquides (Tachet *et al.* 2000). Les Hétéroptères se différencient des Homoptères par la composition de leurs ailes antérieures ou hémélytres. Celles-ci sont composées de deux parties inégales, une partie sclérotinisée (rigide), et une partie membraneuse, (Bérenger, 2009 ; Djebnoui et Nouar 2015). Les Hémiptères peuvent être retrouvés dans les habitats aquatiques ou semi-aquatiques, (adultes et larves).

Les yeux sont composés chez la larve et l'adulte, les antennes possèdent un à cinq articles, le rostre est dirigé antérieurement. Labre, maxilles et mandibules sont transformés en stylets qui délimitent un canal salivaire ou un canal d'aspiration. (Poisson,

2007). Le métathorax est moins développé que le mésothorax. Ce dernier possède une pièce impaire triangulaire appelé le scutellum (écusson) (Figure 4). Les pattes sont de formes variées selon les groupes et selon leur position, le tarse composé de un à trois articles chez l'adulte et un seul chez les larves se terminent par une ou deux griffes. Les ailes présentent typiquement les deux parties caractéristiques des Hétéroptères : une partie proximale sclérifiée et une partie membraneuse, lorsque les ailes sont rabattues à plat sur l'abdomen (Poisson, 2007 ; Djebnoui et Nour, 2015) (Fodé & Vall Zouboye, 2018). L'orifice génital femelle s'ouvre sur le 8<sup>ème</sup> segment et celui des mâles sur le 9<sup>ème</sup>.

La plupart des espèces de cet ordre sont phytophages : elles se nourrissent des sucs contenus dans les tissus végétaux (sève des plantes), certains sont des prédateurs et d'autres encore des parasites hématophages. La respiration se fait directement à travers le tégument chez les deux premiers stades de développement. Chez l'imago elle est tributaire de l'oxygène qui est stocké dans l'espace compris entre les ailes et l'abdomen (Fodé & Vall Zouboye, 2018). Le cycle vital est monovoltine rarement bi ou polyvoltine. Les familles des Nepomorpha qui sont des Hétéroptères aquatiques sont des prédateurs, cependant, certains corixidae sont détritivores ou consommateurs d'algues. Alors que les Gerridae sont des prédateurs (cadavres d'insectes ou d'autres invertébrés tombés à l'eau) (Tachet *et al.*, 2010).

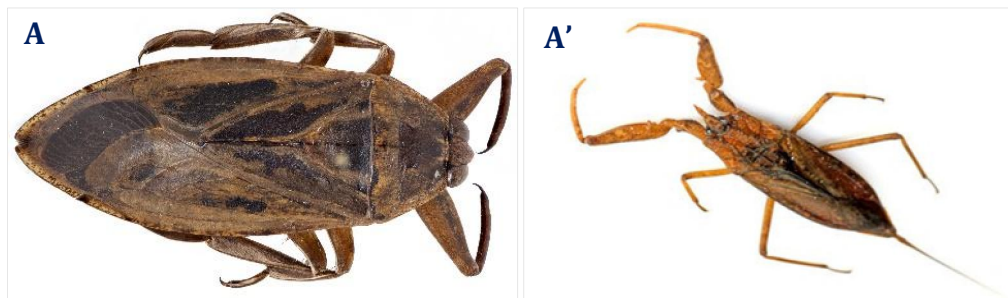


Figure 4 : Larve d'Hétéroptère, A : Belostomatidae, A' : Nepidae

#### I.3.4.5- Odonates

Les Odonates forment un ensemble assez homogène quant à leur cycle de développement leur morphologie, et écologie générale. Le caractère le plus étonnant est l'appartenance de toutes les espèces à deux mondes radicalement différents : le milieu aquatique où se développent les larves et le milieu aérien où volent les adultes (Jourde, 2010). L'ordre des Odonates se divise en deux sous ordres principaux dont les

caractéristiques sont très distinctes, les Zygoptères et les Anisoptère (Tachet et al 2010) (Figure 5).

Chez les larves, la tête moins développée que celle de l'imago, aplatie dorso-ventralement est prognathe ; les pièces buccales sont du type broyeur. Le labium est constitué de deux segments, le submentum et le mentum terminé par une pince. Communément appelé masque ; il est modifié en un organe préhensile articulé comme un bras, dont les palpes sont armés de crochets formant une sorte de pince. Au repos, il est replié sous la face ventrale du thorax, entre les pattes. Les antennes sont de trois à sept articles. Les ocelles sont visibles sur le dessus de la tête. Les yeux, beaucoup moins développés que chez l'adulte, sont très latéraux (Elouard & Gibon, 2001).

Le prothorax est, comme chez l'adulte, bien séparé et mobile. Les deux autres segments, méso-et métathorax sont fusionnés et présentent le même aspect général que le synthorax des adultes. Les pattes sont très semblables à celles de l'imago, mais sont généralement plus réduites. Les ailes sont représentées par quatre étuis allongés vers l'arrière et recouvrant partiellement l'abdomen. Les fourreaux alaires de la larve prête à émerger sont gonflés d'air ; caractère utile à repérer lors de la sélection des larves à mettre en élevage.

L'abdomen est allongé et cylindrique chez les larves de Zygoptères et souvent court et très trapu chez les larves d'Anisoptères. Chez les larves fouisseuses de certains Gomphidae, le dernier segment abdominal peut être aussi long que l'abdomen. Son extrémité est aussi différente d'un sous-ordre à l'autre. Chez les Zygoptères, le dernier segment abdominal porte des appendices péri-anaux allongés, en forme de palettes aplaties latéralement (trois branchies en forme de feuille). Chez les Anisoptères, ils sont beaucoup plus courts et sont appliqués les uns contre les autres, formant ce que l'on nomme la pyramide anale.

À l'éclosion, c'est une prolarve qui sort de l'œuf ; elle effectue immédiatement une mue au contact de l'eau, pour donner la larve de premier stade. Cette larve encore gorgée de réserves vitellines ne s'alimentera qu'au deuxième ou troisième stade. Cette jeune larve est à l'effigie des autres stades larvaires tout en étant plus rudimentaire : les yeux composés sont constitués de peu d'ommatidies, les antennes sont seulement tri-articulées et les tarsi ne possèdent qu'un seul article. Au cours des mues successives, le nombre définitif d'articles sera progressivement acquis, les fourreaux alaires se développeront

ainsi que les organes sexuels. Le développement post embryonnaire se poursuit après un grand nombre de mues pouvant aller jusqu'à treize chez certains Aeshnidae et sa durée, fonction des espèces et des conditions écologiques, peut prendre plusieurs mois. Arrivées au terme de leur développement, marqué par un arrêt de la prise de nourriture, une mobilité restreinte et un gonflement des ptérothèques, les larves se rapprochent de la surface de l'eau et de temps en temps, émergent la partie antérieure de leur corps jusqu'à ce que les stigmates prothoraciques puissent s'ouvrir à l'air libre. C'est pendant cette phase qui peut durer quelques jours, que s'effectue le premier grand changement, le passage à une respiration aérienne (Elouard & Gibon, 2001).

Lorsque la larve est prête à effectuer sa mue imaginale, elle sort de l'eau. Cette sortie a lieu au crépuscule, la nuit ou même parfois de jour. Elle monte sur la terre ou grimpe sur les plantes rivulaires à une hauteur variable suivant les espèces ; certains Gomphidae restent partiellement immergés ne laissant apparaître que le thorax hors de l'eau. Par l'augmentation de la pression interne, les téguments se fendent, au niveau des sutures ecdysiales de la tête et du thorax. Le thorax apparaît le premier, puis la tête et les pattes. Bien souvent à ce stade de la mue, l'imago marque un temps d'arrêt, l'avant du corps renversé vers l'arrière alors que l'abdomen est encore enfermé dans les téguments larvaires. Puis l'imago se redresse, s'accroche à l'exuvie avec ses pattes et extrait enfin l'abdomen. À ce moment, les téguments sont encore très mous, les ailes encore fortement plissées ont l'aspect de moignons chiffonnés et l'abdomen ressemble à un boudin informe. Sous la pression de l'air, abdomen et ailes se déploient petit à petit pour atteindre leur taille définitive. À ce stade, la Libellule n'a pas encore ses couleurs définitives et les téguments sont encore très mous. La durée nécessaire au durcissement avant l'envol est variable selon les espèces. Certains Gomphidae sont capables de s'envoler immédiatement une fois leur taille définitive atteinte, tandis que pour quelques espèces d'Aeshnidae, la phase de durcissement peut durer des heures (Elouard & Gibon, 2001).

La vie imaginale comprend trois phases : la phase de maturation sexuelle, la phase de reproduction, la phase post-reproductive. La première et la dernière éloignent souvent les adultes des points d'eau ; la deuxième les fait se rapprocher pour la ponte. La durée de vie imaginale est mal connue, mais varie d'une quinzaine de jours à 90 jours. D'une manière générale, les adultes sont nettement plus abondants en saison des pluies (Elouard & Gibon, 2001).

Les odonates sont de grands prédateurs des écosystèmes aquatiques (Grand et Boudot, 2006). Leur alimentation se compose essentiellement de larves d'autres insectes (Trichoptères, Diptères, Coléoptères...), de vers et de crustacés. Les odonates consomment parfois aussi les larves d'autres espèces de libellules (Ternois, 2004 ; Jourde, 2010). L'accouplement chez les odonates est unique et spectaculaire du fait de l'anatomie du mâle et de la femelle, l'accouplement forme une sorte de cœur caractéristique, appelé cœur copulatoire. Selon les espèces, les individus peuvent avoir des comportements territoriaux très marqués. Les odonates occupent des milieux très variés : des bassins saumâtres aux lacs de montagne et il n'est guère de milieux aquatiques qui ne puissent être colonisé par des odonates, ainsi et par leur dépendance aux milieux aquatiques et leur sensibilité aux modifications des habitats. Leur diversité peut être un outil intéressant pour évaluer la qualité des milieux (Masselot et Nel, 2003).



Figure 5 : Larve d'Odonate, A : Gomphidae, A' : Coenagrionidae

#### I.3.4.6- Crustacés

Les crustacés comprennent un très grand nombre d'espèces en milieu marin. En eau douce trois sous classes sont connues les Branchiures, Branchiopodes, Malacostracés (Tachet *et al.*, 2012). La prolifération de crustacés constitue donc un indice de pollution organique. De plus, ils sont sensibles à la pollution par les nitrates et les pesticides, ainsi qu'à l'acidification et à la faible oxygénation des plans d'eau (Hullnudd, 2009).

Les Décapodes sont des Crustacés Eucarides chez lesquels le corps peut être divisé en trois parties : le céphalon, le thorax et l'abdomen (Tachet, 2010). Les trois premières paires de pattes thoraciques sont transformées en maxillipèdes, les cinq paires suivantes étant à fonction locomotrice (périopodes), la paire IV (premier périopode) pouvant être transformée en pince (chélipède) bien développée ; elle est dépourvue d'exopodite chez l'adulte. L'exopodite maxillaire ( $M_{x2}$ ) est bien développé. Les branchies sont

thoraciques (Figure 6). L'abdomen joue un rôle locomoteur et porte des pléopodes natatoires chez les groupes primitifs à faciès caridoïde (crevette), il est réduit, ainsi que ses appendices, chez les formes plus évoluées et n'est plus qu'un opercule articulé chez les Crabes. Les sexes, en règle générale, sont séparés. Succinctement parlant, un Décapode comprend :

- Un céphalothorax parfois prolongé vers l'avant par un rostre plus ou moins développé ;

- deux paires d'appendices préoraux : les antennules et les antennes ;

- trois paires d'appendices oraux : les mandibules, les maxillules et les maxilles ;

- huit paires d'appendices thoraciques dont trois paires de maxillipèdes et cinq paires de perkiopodes (les postérieurs sont locomoteurs mais une ou plusieurs paires peuvent être préhensiles) ;

- un abdomen ou pléon, portant six paires d'appendices ou pléopodes dont la dernière paire constitue chez les Macroures les uropodes, qui forment, avec le telson terminal, un éventail caudal. Les orifices génitaux femelles se trouvent sur le 6<sup>ème</sup> somite thoracique, ceux des mâles sur le 8<sup>ème</sup>. Les pléopodes mâles peuvent être modifiés : les Pl<sub>1</sub> et Pl<sub>2</sub> sont, chez les Brachyours (Crabes), transformés en pénis ou gonopodes tandis que, chez les Macroures, l'endopode du Pl<sub>1</sub> peut porter une appendix interna et celle des Pl<sub>2</sub> une appendix masculina et une appendix interna. Ces organes présentent souvent des caractères importants et très utilisés en systématique (celle des Brachyours par exemple, fait appel à la morphologie des gonopodes) (Elouard & Gibon, 2001).

Ce sont tous des animaux au genre de vie extrêmement variable, organisés pour vivre dans l'eau, et l'immense majorité de ces êtres habitent la mer. Un très petit nombre de formes seulement se sont adaptées à la vie terrestre (Moisan, 2010). La reproduction se fait toujours par voie sexuée. Certaines espèces sont hermaphrodites (Cirripèdes), mais généralement les sexes sont séparés, ce qui s'accompagne d'un dimorphisme plus ou moins marqué. On recense enfin des cas d'hermaphrodisme protandrique (condition d'hermaphrodisme de certains végétaux dans laquelle l'organe reproducteur male est mur avant l'organe reproducteur femelle). De nombreux crustacés, petits ou grands sont carnivores, soit prédateurs actifs soit charognards (crabes, homards, crevettes).



Figure 6 : Images des Décapodes, A : Palaemonidae, B : Atyidae, C : Potamidae

#### I.4- Groupes trophiques

Les groupes trophiques décrivent le mode d'alimentation des macroinvertébrés. Cummins, (1973) a proposé une classification de la faune benthique par catégorie trophique. Cette classification est regroupée dans le tableau II suivant :

Tableau II : Regime alimentaire des macroinvertebres (Cumming et al., 1985; Merritt et al., 2008)

Ordres	Familles	Régime alimentaire
Ephéméroptères	Baetidae, Leptophlebiidae, Ephemeridae, Heptageniidae, Tricorythidae	Déchiqueteurs, Brouteurs, Détritviores et Filtreurs
Plécoptères	Perlidae	Prédateurs, détritviores
Trichoptères	Ecnomidae,	Détritviores
	Calamoceratidae, Lepidostamatidae	Brouteurs, Détritviores
	Leptoceridae, Philopotamidae, Hydropsychidae, Sericostomatidae Polycentropodidae	Filtreurs Prédateurs
Hétéroptères	Corixidae, Gerridae, Veliidae	Prédateurs, Suceurs
Odonates	Gomphidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Calopterygidae, Cordulidae, Macromiidae, Chlorocyphidae	Prédateurs
Diptères	Ceratopogonidae	Brouteurs, Prédateur, Détritviores
	Chironomidae, Tanypodinae Dolichopodidae, Limoniidae, Tabanidae	Détritviores, Prédateurs
	Dixidae, Simuliidae	Détritviores, Filtreur
	Ephidridae, Orthocladiinae	Détritviores, Brouteurs, Déchiqueteurs, Prédateurs
Triclades	Dugesiidae	Détritviores, Filtreurs
Gastéropodes	Physidae	Brouteurs

Rynchobdéliiformes	Hirudinae	Prédateurs
Décapodes	Atyidae	Détritivores
Coléoptères	Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae (Enochrus)	Prédateurs
	Scirtidae, Dryopidae, Hydrophilidae	Brouteurs (racleurs), détritivores, déchiqueteurs

### I.5.1- Prédateurs

Cette catégorie prend en compte tous les macroinvertébrés qui sont adaptés spécifiquement à la capture de proies vivantes (d'autres invertébrés et parfois de petits vertébrés comme des alevins). Leurs pièces buccales de type broyeur sont en général très robustes et caractérisées par des mandibules chitineuses et dentées qui servent à broyer les aliments, des maxilles permettant la mastication et des palpes maxillaires et labiaux qui assurent une fonction tactile. Chez les insectes carnivores, les mandibules sont bien développées ; ainsi, leur partie distale incisive prend un grand développement. Chez les insectes phytophages, les mandibules sont plus courtes avec la partie molaire beaucoup plus développée. Ils chassent, piquent, sucent leurs proies. Les prédateurs sont représentés par les Odonates, les Hémiptères (sauf Corixidae), les Coléoptères (Dytiscidae, Gyrinidae), les Hirudidae (Sangsues) et les Plécoptères (Perlidae) (Tenkiano, 2017).

Certains prédateurs ont un régime alimentaire hématophage se nourrissant de sang et opophage se nourrissant de sève de plante. Leur appareil bucal est de type piqueur-suceur et se caractérise par des mandibules transformées en stylets mandibulaires et des maxilles transformées en stylets maxillaires. Ainsi l'ensemble de ces pièces constitue une sorte de rostre qui permet à l'insecte de percer les jeunes tissus animaux ou végétaux et d'aspirer par la suite le sang ou la sève qui sort par la blessure. C'est le cas des larves de Dytiques, Hémiptères et certains Diptères.

### I.5.2- Racleurs

Ce sont des organismes végétariens, ils raclent ou brossent le périphyton ainsi que les éléments minéraux et organiques associés. Ils sont représentés par les Coléoptères (Helodidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Haliplidae, Elmidae) et les Mollusques (Planorbiidae). Ils abondent dans les zones à végétation importante et relativement calmes.



### **I.5.3- Déchiqueteurs / Brouteurs**

Les macroinvertébrés déchiqueteurs se nourrissent de plantes vasculaires vivantes (bryophytes, macrophytes) et de matière organique de grosse taille (MOGP). Ils sont équipés de pièces buccales particulières les permettant de découper et broyer les aliments. Comme chez les prédateurs, les déchiqueteurs ont des pièces buccales de type broyeur en général robustes et caractérisées par des mandibules chitineuses et dentées qui servent à broyer les aliments, des maxilles permettant la mastication et des palpes maxillaires et labiaux qui assurent une fonction tactile. Les déchiqueteurs sont peu diversifiés dans notre étude. Ils sont représentés par les crustacés Asellidae, Atyidae et Potamonautidae.

### **I.5.4- Collecteurs (Filtreurs)**

Les invertébrés appartenant à ce groupe récoltent des particules fines (MOFP) qui dérivent dans la colonne d'eau. Ils sont représentés par les diptères de la famille des Chironomidae (*Chironomus*), des larves d'Ephéméroptères (*Baetis* et *Adenophlebia*), des Mollusques Sphaeridae (*Sphaerium*) et des Oligochètes. Les Chironomidae constituaient l'essentiel de leur abondance.

Tableau III : Synthèse bibliographique de quelques familles de macroinvertébrés benthiques (modifié)

Ordre	Famille	Niche écologique	Courant	Proie et Mode de nutrition	Morphologie
Hemiptera	Gerridae	Surface des eaux calmes, étang, rives des lacs	Limnophiles (Rhéophiles)	Insectes et larves tombés à la surface des eaux Prédateur nageur	Corps de forme oblongue, petite ou moyenne, longue 2 à 15 mm, couleur généralement sombre et peu visible, du brun au noir, avec des taches plus claires.
	Veliidae	Surface des eaux calmes	Limnophiles (Rhéophiles)	Insectes et larves tombés à la surface des eaux Prédateur nageur	Corps ovale à allongé recouvert de poils hydrofuges, plus petit entre 1,5 et 6mm 4, antennes segmentées sont plus longues que la tête et facilement visible.
	Naucoridae	Surface des eaux calmes	Limnophiles	Algues microscopiques Prédateur	PI transformés en pattes ravisseuses, nage sur le ventre, forme aplatie et ovale.
	Mesovelidae	Surface des eaux calmes	Limnophiles (Rhéophiles)	Insectes Prédateur nageur	Tête courte, plus ou moins triangulaire, patte II équidistantes des PI et PIII, hanches des PIII dirigées vers l'axe médian, griffes des pattes apicales.
	Nepidae	Fond et herbier	Limnophiles	Invertébrés morts, algues microscopiques Prédateur, piqueur	Rostre court avec la présence de glande salivaire remplie de venin, pattes antérieures ravisseuses.
Trichoptera	Hydropsychidae	Substrat durs	Rhéophiles	Invertébrés et algue Prédateur	Deux paires membraneuses couvertes de poils, ailes fortement réticulées, membraneuses et transparentes, trois segments thoraciques munis de palpes dures, face ventrale de l'abdomen recouvert de branchies filamenteuses.
	Philopotamonidae	Surface des eaux, vase	Rhéophiles	Algues microscopiques Prédateur	Prénatum sclérifié, capsule céphalique allongée, extrémité du trochanter arrondie

	Limnophilidae	Interface eaux /sédiment	Rhéophiles	Invertébrés et algues Broyeur, filtreur	Pro et mesomentum complètement sclérifiés, présence d'une corne prostenale.
	Glossosomatidae	Surface des eaux	Rhéophiles	Algues fines, débris organiques Filtreur	Crochets anaux insérés sur un prolongement de l'abdomen, pièce proximale soudée à l'abdomen.
	Ecnomidae	Surface des eaux	Rhéophiles	Invertébrés Prédateur	Crochets anaux portant ventralement les dents, taille jusqu'à 12 mm, pygopodes à 2 articles.
	Phryganeidae	Surface des eaux	Rhéophiles	Algues microscopiques, invertébré Filtreur, prédateur	Taille allant jusqu'à 40 mm, étui toujours fait d'élément végétaux.
Odonata	Cordullidae	Sable ou vase	Limnophiles	Insectes, petits crustacés Prédateur strict	Abdomen très aplati dorso-ventralement souvent presque aussi long que large, prémentum en cuillère recouvrant le labre et atteignant presque la base des antennes, bord interne du palpe labial fortement crénelé, longueur des cerques égale à deux tiers de longueur des paraproctes, PI, PII et PIII grêles et allongées
	Coenogrionidae	Sable ou vase du rhithron	Limnophiles	Insectes, petits crustacés, autres odonates Prédateur strict	Prémentum sans incision médiane du bord antérieur, lamelles caudales de formes variées, chez les jeunes larves, les lamelles caudales sont souvent étroites et se terminent par une pointe effilée, tandis que chez les larves de dernier stade l'extrémité des lamelles caudales peut être arrondie ou avec une pointe peu marquée
	Libellulidae	Sur ou dans la vase	Limnophiles (eau stagnante)	Insectes, petits crustacés, autres odonates Prédateur strict	Mentum en cuillère, pourvu de soies recouvre la face ventrale et la tête, bord interne des palpes labiaux pourvus des grandes dents irrégulières, l'extrémité des pattes III n'atteint pas l'extrémité de l'abdomen
	Lestidae	Vase et surface des eaux	Limnophiles	Invertébrés, algues microscopiques Prédateur	Palpe labial profondément incisé, griffes articulées portant des soies au bord dorsal, Prémentum présentant une incision médiane au bord antérieur.

	Calopterygidae	Surface des eaux, vase	Rhéophiles	Invertébrés, algues microscopiques Prédateur	Ouverture losangique sur le prémentum, taille allant jusqu'à 25mm.
Diptera	Tipulidae	Surface des eaux, vase	Limnophiles/ rhéophiles	Algues fins débris organiques Broyeur, détritivore.	Tête Partiellement sclérifiée, massive, sombre, et rétractile dans le premier segment.
	Chironomidae	Macrophytes et vases	Limnophiles	Algues, fins débris organiques, microinvertébrés Filtreur ou mangeur de substrats	Corps cylindrique, pseudopodes thoraciques, tête distincte du thorax sans panache de soies, segments du thorax distincts, petits crochets sur les fausses pattes, fréquemment retrouvé dans le tube de vase, plus rarement dans un étui. Antennes pluriarticulées.
Décapoda	Potamonidae	Vase	Limnophiles/ Rhéophiles	Mixte Broyeur	Palpes mandibulaires tri-articulés, bi-articulés, segment antérieur du bord antéro-latéral sans dents intermédiaires entre l'exorbitaire et l'épi branchiale.
	Palaemonidae	Potamon	Limnophiles	Microphytes, fins débris, Broyeur	Cuticule lisse, taille jusqu'à 50 mm pour les mâles, activités surtout nocturnes
	Atyidae	Substrat meuble, macrophytes, potamon	Limnophiles	Mixte Broyeur	Aspect typique comme une crevette, péripodes 4 et 5 terminés par les pinces dont les pointes sont garnies d'un pinceau de soies, péripodes 6 à 8 terminés par une griffe, taille de 25 à 40 mm pour les femelles et, de 15 à 25 mm pour les males
Plécoptère	Perlidae	Vase	Rhéophiles	Invertébrés Prédateur	Trachéobranchies coxales et parfois anales, angles antéro-latéraux du submentum non séparés par une suture.
Oligocheta	Lumbriculidae	Surface des eaux	Rhéophiles	Matières organiques et bactériennes, Détritivore	Présence de 2 soies par faisceaux, corps opaques, présence d'un gésier en avant de l'intestin
	Haplotaxidae	Cosmopolite	Limnophiles/ rhéophiles.	Matières organiques fortement décomposées, Détritivore	Corps très longs jusqu'à 300mm, minces, une seule paire de soie par faisceau sétigère, soies dorsales plus petites manquantes dans un certain nombre de segment.

Ephéméroptera	Siphonuridae	Surface des eaux, vase	Limnophiles/ rhéophiles	Débris organiques, macrophytes, Fouisseur, nageur	Antennes et tête ayant la même longueur, branchies en lamelle simple ou double, segments abdominaux avec angles postéro-externes terminés en pointe.
	Ephemellidae	Surface des eaux, vase	Limnophiles/rhéophiles	Algues microscopiques, débris végétaux, Filtreur, fouisseur	7 paires de branchies, pattes thoraciques modifiés.
	Leptophlebiae	Surface des eaux	Limnophiles/ rhéophiles	Débris organiques, algues microscopiques, Filtreur	Cerque et paracerques avec des soies du coté interne et externes, 7 paires de branchies doubles, digitée, foliacée ou lobées.
	Beatidae	Surface des eaux, vase	Limnophiles/ rhéophiles	Algues microscopiques, débris organiques, Filtreur, fouisseur	Corps cylindrique, yeux latéro-dorsaux, cerque avec des soies sur le bord interne, antenne plus large que la tête.
Coleoptera	Elmidae	Surface des eaux, vase	Limnophiles	Débris organiques, algues microscopiques Détritviores, algivores	Antennes longues, élytres normaux, corps glabre.
	Gyrinidae	Surface des eaux, vase	Rhéophiles/ limnophiles	Invertébrés, Prédateur	Branchies abdominales plumeuses, 4 crochets abdominaux, corps en navette, 2 paires d'yeux.
	Hydrophylidae	Surface des eaux, vase	Rhéophiles / limnophiles	Algues microscopiques, Algivore, suceur	Capsule céphalique sclérifiée et aplatie dorsoventralement, Prémentum sclérifié.
	Curculionidae	Surface des eaux, vase	Rhéophiles/ limnophiles	Algues microscopiques, Herbivore, broyeur	Rostre plus au moins long portant les antennes constituées de 2 parties, pas de crochet stigmatique.

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

## **II.1- Matériel**

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

Créée par Décret présidentiel n° 2008/376 du 12 Novembre 2008, portant organisation de la République du Cameroun, la région du Sud a hérité de l'ex-province du Sud elle-même créée le 22 Août 1983, par l'éclatement de l'ancienne Province du Centre-Sud. La Région du Sud est bordée au Nord-Ouest par la Région du Littoral, au Nord par la Région du Centre et à l'Est par la Région de l'Est. La partie méridionale de la Région est limitrophe de trois pays : la Guinée Équatoriale, le Gabon et la République du Congo. Cette région possède une façade maritime sur le Golfe de Guinée qui occupe tout son flanc occidental. Avec une superficie d'environ 47 191Km<sup>2</sup>, la Région du Sud est divisée en quatre Départements : la Mvila, le Dja et Lobo, l'Océan et la Vallée du Ntem (INS, 2018).

Le climat se caractérise par quatre saisons dont deux pluvieuses : mi-mars à juin (petite saison de pluies) et fin-août à mi-novembre (grande saison de pluies) ; et deux sèches : fin-novembre à mi-mars (grande saison sèche) et juillet à mi-août (petite saison sèche). Les précipitations sont abondantes et les températures modérées (Suchel, 1987 ; INS, 2018).

Le relief dans la région du Sud est dominé par le plateau sud camerounais avec une altitude variant entre 0 m et 1000 m. On y trouve :

- Un plateau à l'Est qui culmine à 1000 m ;
- une plaine côtière atlantique longue de 150 Km au sud de Kribi ;
- une succession de collines convexes dont l'altitude varie entre 650 m et 900 m ;
- une plaine à l'Est et au Nord-Est.

Dans la région du Sud, on rencontre des sols ferrallitiques jaunes sur Gneiss couvrant la majeure partie du territoire et des sols ferrallitiques rouges et une plaine sédimentaire le long de la côte. (Ewane, 2005 ; INS, 2018).

La végétation est marquée par la forêt dense humide à l'intérieur de laquelle on distingue deux (02) grands types : la forêt dense humide à deux variantes (forêt sempervirente congolaise ou du Dja et forêt ombrophile de basse altitude du littoral) et la forêt dense humide à une variante semi-décidue de moyenne altitude (forêt marécageuse) (Ewane, 2005 ; OMD, 2010).

Deux grands bassins constituent l'essentiel du réseau hydrographique de la région du Sud : le bassin de l'Atlantique avec pour fleuves le So'o qui prend naissance près de Sangmélima ; le Ntem long de 460 km, prend naissance au Gabon ; la Lokoundje qui rejoint l'Océan Atlantique près de l'estuaire du Nyong. Le bassin du Congo est représenté dans la région par le fleuve Dja qui prend sa source au Sud- Est d'Abong-Mbang ; la Lobé et la Kienké qui atteignent l'Océan Atlantique par une série de chutes (OMD, 2010).

La population dans la Région du Sud est constituée de 49,0% de femmes. D'après l'Enquête Complémentaire à la Quatrième Enquête Camerounaise Auprès des Ménages (EC-ECAM4), la structure par âge de la population du Sud en 2016 est marquée par sa jeunesse (0 à 34 ans). Les données par département montrent que les tranches 0-4 ans, 5-14 ans et 15-34 ans cumulées représentent plus de la moitié de la population totale de la Région. Les personnes de plus de 35 ans sont à moins de 30% de la population dans chaque département (INS, 2018). Tout comme dans les autres régions, la région du Sud est essentiellement agricole. Néanmoins, on y pratique aussi de l'élevage et de la pêche.

Les entreprises dans cette région appartiennent plus au secteur tertiaire et au secteur de l'exploration minière. Les activités du commerce quant à elles tournent autour de l'écoulement des produits de grande consommation à des prix bas (INS, 2018).

De par sa situation géographique dans la grande forêt équatoriale, la région du Sud comprend en son sein une faune et une flore diversifiée. La superficie des aires protégées dans la région est d'environ 807 484 hectares. Elles sont de 45% pour la zone de chasse à gestion communautaire, 33% pour le parc national, 14% pour la réserve de faune, 3% pour la réserve de kienké-sud et celle à gorille de Mengamé. Pour ce qui est de la production de bois, la coupe de bois par les Unité Forestière d'Aménagement (UFA) en 2013 est estimée à 32 354 pieds pour un volume de 345 984,5 m<sup>3</sup>, dont près de la moitié du volume provient du Dja et Lobo. En 2015, la coupe de bois par les UFA était estimée à 355 350,595 m<sup>3</sup>.

### **II.1.2- Présentation des différents sous bassins versants et des stations d'échantillonnage**

Notre travail s'est déroulé dans quatre cours d'eau choisi dans deux localités du département de la Mvila. La localité de Mvam Essakoe avec deux cours d'eau dénomés Bengo et Metyi, et la localité d'Azem avec deux cours d'eau éappelés Sounou et Lo'o, les12



stations sélectionnées se répartissant sur les quatre cours d'eau soit trois stations par cours d'eau (Figure 7).

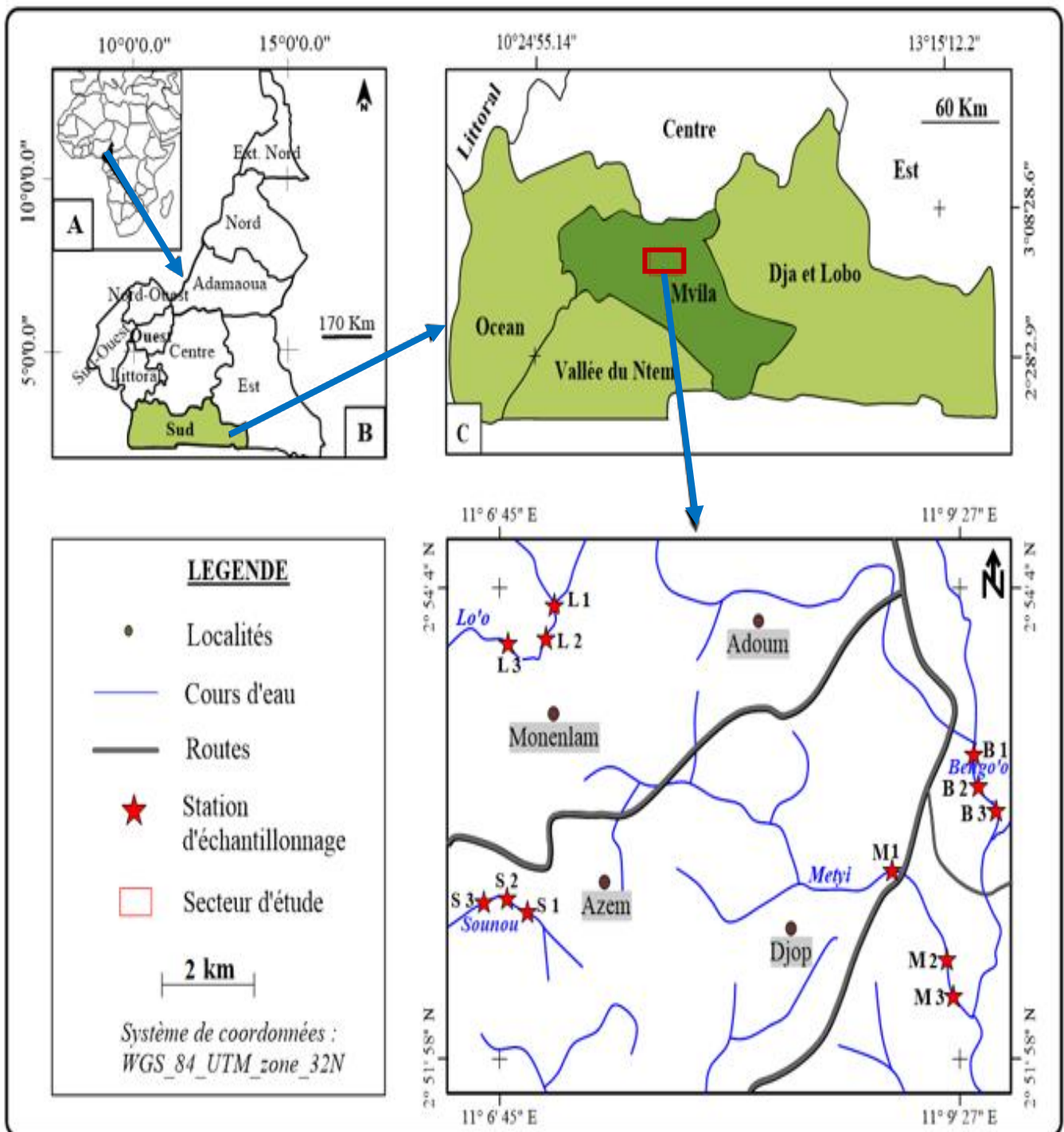


Figure 7 : Carte hydrologique de la zone d'étude montrant les différentes stations d'échantillonnage (INC, 1980 modifié).

### II.1.2.1- Sous-bassin versant du cours d'eau Métyi

Long d'environ 15 km et couvrant une superficie d'environ 26 km<sup>2</sup>, le sous bassin versant du cours d'eau Métyi prend sa source dans la localité de Monenlam, en passant par Djop avant d'atteindre la localité de Mvam Essakoe. Il coule dans le sens Nord-Ouest, Est. Situé entre 2°51' et 2°53' de latitude Nord et 11°7' et 11°9' de longitude Est, le cours d'eau Métyi traverse une zone péri-urbaine dans sa partie supérieur et une zone forestière dans sa partie inférieure. Trois stations d'échantillonnage y ont été choisies (M1, M2 et M3) (Figure 8).

La station M1, située à la traversée de l'axe Ebolowa-Ambam avec pour coordonnées géographiques 02°52'22,7" de latitude Nord et 011°09'19,8" de longitude Est, avec une altitude de 564 m au-dessus de la mer. Cette station est recouverte d'une végétation herbacée dense, et le substrat est essentiellement un mélange de sable et de galet (Figure 8A).

La station M2, de coordonnées géographiques 02°52'50,6" de latitude Nord et 11°09'03,3" de longitude Est et une altitude 560 m au-dessus de la mer, elle est recouverte d'une végétation herbacée constituée majoritairement du sissongo. Le substrat est essentiellement dominé de galet (Figure 8B).

La station M3, 02°52'13,2" de latitude Nord et 011°09'22,0" de longitude Est et une altitude 559 m au-dessus de la mer, est longée d'une végétation constituée de grands arbres et de lianes, avec un substrat entièrement vaseux (Figure 8C).

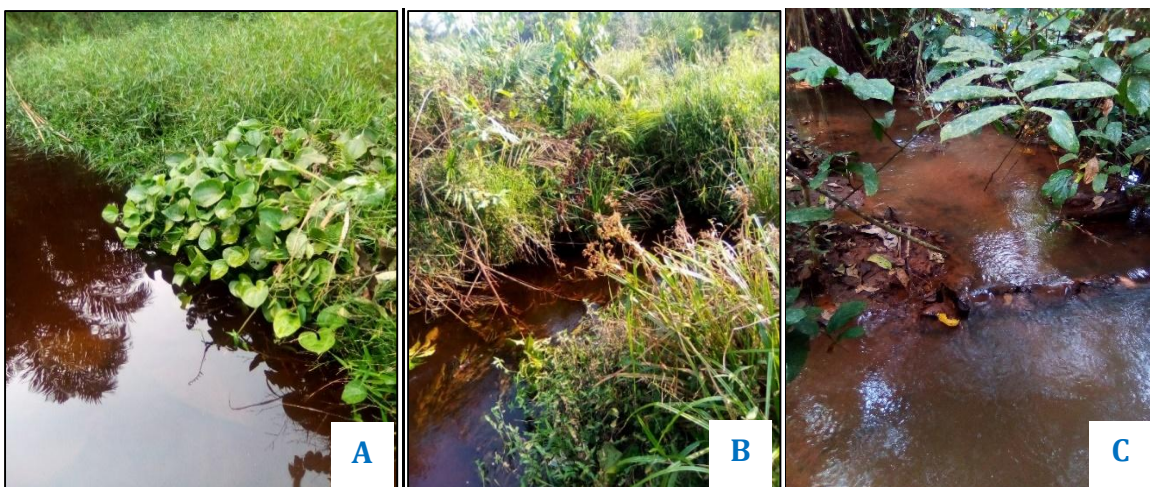


Figure 8 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Métyi, M1(A) ; M2(B) ; M3(C).

### II.1.2.2- Sous-bassin versant du cours d'eau Bengo

Avec une longueur d'environ 12 km, et une superficie qui peut atteindre 43 km<sup>2</sup>, le sous-bassin versant du cours d'eau Bengo'o prend sa source dans la localité d'Adoum jusqu'à la localité de Mvam Essakoe. Le Bengo'o est situé entre 2°53' et 2°55' de latitude Nord et 11°7' et 11°9' de longitude Est et coule dans le sens Nord, Est. Il traverse une zone péri-urbaine dans sa partie supérieure et une zone forestière dans sa partie inférieure. Trois stations d'échantillonnage ont été choisies (B1, B2 et B3) (Figure 9).

La station B1, de coordonnées géographiques 02°53'18,2" de latitude Nord et 011°09'28,2" de longitude Est, avec une altitude de 578 m au-dessus du niveau de la mer, est recouverte de grands arbres et de palmiers. Le substrat de fond dans cette station est de nature sableuse, la colonne d'eau peut atteindre 0,8 m de profondeur sur environ 3m de largeur (Figure 9A).

La station B2, située dans le sous-bois et bordée de grands arbres, d'arbustes, de palmiers et d'herbes, a pour coordonnées géographiques 02°53'08,3" de latitude Nord et 011°09'24,9" de longitude Est avec une altitude de 577,5 m au-dessus du niveau de la mer. Le substrat est essentiellement sableux, couvert de feuilles et branches mortes, la colonne d'eau pouvant atteindre 0,5 m pour une largeur d'environ 4m (Figure 9B).

La station B3 avec pour coordonnées géographiques 02°53'03,9" de latitude Nord et 011°09'28,8" de longitude Est a une altitude de 574 m au-dessus du niveau de la mer. La végétation est constituée de grands arbres, de raphias et de lianes. Le substrat est dominé de sable, la colonne d'eau pouvant atteindre 0,7 m de profondeur pour une largeur de 1,8 m environ, bordée de pentes abruptes d'environ 0,7 m de hauteur (Figure 9C).



Figure 9 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Bengo, B1(A) ; B2(B) et B3(C).



### II.1.2.3- Sous-bassin versant du cours d'eau Sounou

Avec une superficie d'environ 8 km<sup>2</sup> et une longueur pouvant atteindre 5 km, le sous-bassin versant du cours d'eau Sounou est situé dans la localité d'Azem entre 2°51' et 2°52' de latitude Nord et 11°5' et 11°7' de longitude Est. Ce cours d'eau forestier coule dans le sens Sud, Ouest. Trois stations d'échantillonnage y ont été choisies (S1, S2 et S3) (Figure 10).

La station S1, de coordonnées géographiques 02°52'36,7" de latitude Nord et 011°06'53,8" de longitude Est avec une altitude de 581 m au-dessus du niveau de la mer. La végétation est composée de grands arbres qui couvrent entièrement la station. Le lit du cours d'eau est essentiellement constitué du sable avec un peu de feuilles mortes. La colonne d'eau dans cette station peut atteindre au maximum 0,2 m de hauteur et une largeur de 1m (Figure 10A).

La station S2, située à 02°52'41,8" de latitude Nord et 011°06'45,4" de longitude Est avec une altitude de 576 m au-dessus du niveau de la mer. La végétation est dominée de grands arbres qui forment un couvert réduisant la pénétration des rayons solaires, le lit du cours d'eau est principalement sableux, avec des feuilles mortes et de branchages qui jonchent le fond. La colonne d'eau dépasse rarement 0,15 m avec une largeur d'environ 2 m (Figure 10B).

La station S3, de coordonnées géographiques 02°52'43,3" de latitude Nord et 011°06'41,4" de longitude Est avec une altitude de 570 m au-dessus du niveau de la mer, elle est caractérisée par une végétation dominée de grands arbres qui forment une canopée réduisant l'entrée des rayons solaires. Le substrat se compose du sable, de galet, et de feuilles mortes et la colonne d'eau dans pouvant atteindre 0,2 m pour une largeur de 1,5 m (Figure 10C).

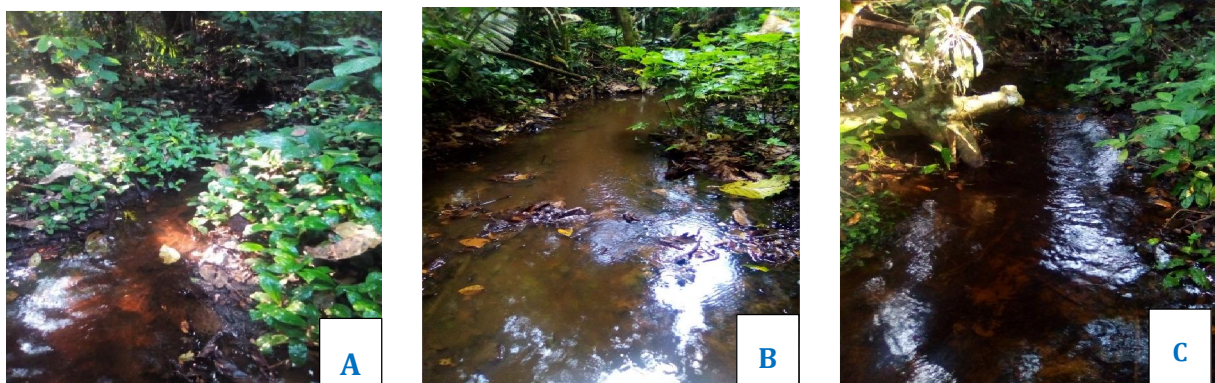


Figure 10 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau sounou S1(A) ; S2(B) ET S3(C).

#### II.1.2.4- Sous-bassin versant du cours d'eau Lo'o

Couvrant une superficie d'environ 18 km<sup>2</sup> et une longueur avoisinant 7 km, le sous-bassin versant du cours d'eau Lo'o s'étend de 2°53' à 2°56' de latitude Nord et 11°5' et 11°7' de longitude Est dans la localité de Monenlam. Il coule à travers la forêt tropicale composée de grands arbres, d'arbustes et de lianes dans le sens Nord, Ouest. Trois stations d'échantillonnage y ont été retenues (L1, L2 et L3) (Figure 11).

La station L1 a pour coordonnées géographiques 02°53'48,7" de latitude Nord et 011°06'47,5" de longitude Est avec une altitude de 594 m au-dessus du niveau de la mer. Elle se caractérise par une végétation dominée par de grands arbres et d'arbustes qui forment une canopée qui bloque les rayons solaires. Le substrat dominant est un mélange de galets, de sable et de feuilles mortes. La colonne d'eau peut atteindre 0,3 m de hauteur pour une largeur avoisinant 2 m (Figure 11A).

La station L2, située entre 02°53'53,7" de latitude Nord et 011°06'53,4" de longitude Est a une altitude de 594 m au-dessus du niveau de la mer. Elle se compose d'une végétation constituée de grands arbres et d'arbustes. Le lit du cours d'eau est formé d'un mélange de galets, de sable grossier et de sable fin. La colonne d'eau dépasse difficilement 0,25 m de hauteur avec une largeur de 1,6 m environ (Figure 11B).

Station L3, de coordonnées géographiques 02°59'48,6" de latitude Nord et 011°06'58,7" de longitude Est, se situe à une altitude de 579 m au-dessus du niveau de la mer. Elle se caractérise par une végétation dominée par de grands arbres, les arbustes et de palmiers qui forment une forte canopée qui réduit considérablement les rayons solaires. Le substrat est essentiellement composé de vase, de feuilles mortes et de branchages. La colonne d'eau peut atteindre 0,4 m avec une largeur moyenne de 2,5 m environ (Figure 11C).

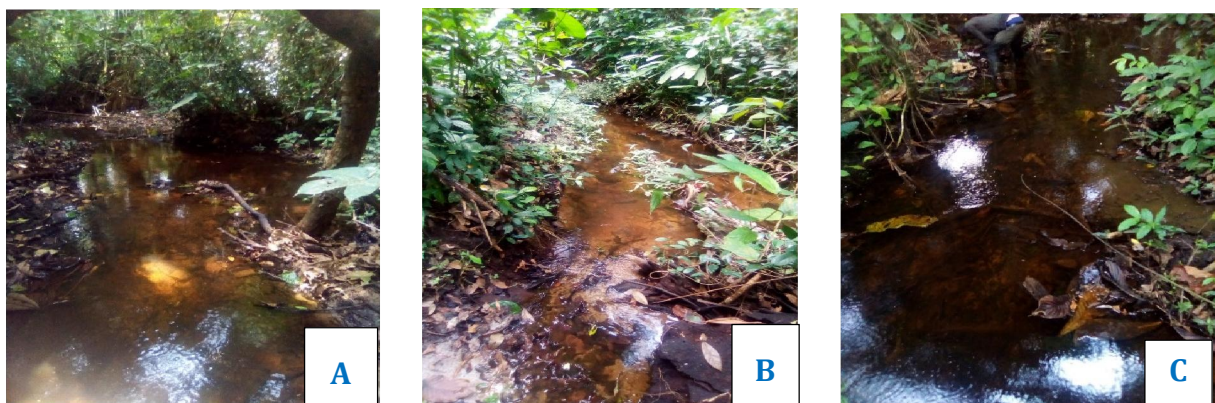


Figure 11 : Vue partielle des stations d'échantillonnage du cours d'eau Lo'o L1(A) ; L2(B) et L3(C).

## II.2- Méthodes

### II.2.1- Caractérisation granulométrique

La caractérisation du substrat a été réalisée une seule fois, en saison sèche telle que recommandée par Intès et Le Loeuff (1986). Les prises ont été effectuées dans les sédiments entre 2 à 5 cm de profondeur en utilisant une boîte métallique de 30 cl. Les échantillons collectés ont été conservés dans les sacs zip et ramenés au Laboratoire de traitement des minerais (LTM) de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières (IRGM) pour analyse. Les échantillons ont été préalablement séchés avant d'être analysés. L'analyse granulométrique a consisté tout d'abord à peser les échantillons avant les opérations de tamisage dans des tamis métalliques de mailles décroissantes (20 mm, 2 mm et 0,2 mm). Le taux d'encombrement du substrat déterminant la quantité de matières allochtones dans le lit du cours d'eau est calculé et caractérisé selon l'échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée par Malavoi et Souchon (2002) (Tableau IV). Cette analyse a permis de séparer les cailloux fins (CF), des graviers grossiers (GG), des graviers fins (GF), des sables grossiers (SG) et des sables fins (SF).

Tableau IV : Echelle granulométrique de Malavoi et Souchon (1989)

Classe granulométrique	Classe de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code	Nom utilisé
Rochers	> 1024	R	Rochers
Blocs	256-1024	B	Blocs de pierre
Pierres Grossières	128-256	PG	Galets
Pierres Fines	64-128	PF	
Cailloux Grossiers	32-64	CG	
Cailloux Fins	16-32	CF	Granulats
Graviers Grossiers	8-16	GG	
Graviers Fins	2-8	GF	
Sables Grossiers	0,5-2	SG	Sables grossiers
Sables Fins	0,0039-0,0625	SF	
Limons	0,0039-0,0625	L	
Argiles	<0,0039	A	

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

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

### II.2.2.1- Sur le terrain

La température et le pH ont été mesurés *in situ* au moyen d'un waterproof combo pH et EC de marque HANNA HI 981301 de précision 0,1. Les résultats sont exprimés respectivement en degré Celsius (°C) et Unité Conventionnelle (UC).

Les mesures de la conductivité électrique et des TDS ont été faites *in situ* à l'aide d'un waterproof combo pH et EC de marque HANNA HI 981301 de précision 0,1. Les valeurs sont données respectivement en microsiemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et en mg/L.

La mesure des teneurs en oxygène dissous a été effectuée *in situ* à l'aide d'un et d'un Oxymètre portatif de marque HANNA HI 9147. Les résultats sont exprimés en pourcentage de saturation (%).

Pour les mesures destinées au laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés selon les recommandations de Rodier *et al.* (2009) dans les flacons en polyéthylène à double bouchage de 250mL et de 1000mL puis transportés dans une enceinte réfrigérée.

### II.2.2.2- Au laboratoire

L'alcalinité a été 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 comme indicateur coloré. Les résultats exprimés en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  sont obtenus par la formule ci-après :

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

L'oxydabilité a été mesurée par volumétrie selon le protocole ci-dessous. Dans un erlenmeyer de 500 mL ont été introduits 200 mL d'échantillon d'eau brute, puis 2 mL de carbonate monosodique et l'ensemble porté à ébullition sur une plaque chauffante. Dès le début de l'ébullition, 20 mL de  $\text{KMnO}_4$  N/80 ont été ajoutés. Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erlenmeyer a été refroidi à l'eau courante. Après refroidissement, 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25% et 20 mL de sel de Mohr ont été ajoutés successivement. L'échantillon

décoloré a ensuite été titré au  $\text{KMnO}_4$  N/80 jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante. L'échantillon témoin est préparé dans les mêmes conditions, mais avec de l'eau distillée. L'oxydabilité exprimée en mg/L de  $\text{O}_2$  s'obtient par la formule ci-dessous :

$$\text{Oxydabilité (mg/L de KMnO}_4) = \frac{q-q_0}{2} \times 3.95$$

Les mesures des teneurs de l'eau en différentes formes d'azote ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ) et en orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se sont faites par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre HACH DR/2010 et d'un Hydrotest HT 1000. Les teneurs en azote ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) ont été mesurées sur 10 ml d'échantillon en utilisant le Nessler, les lectures se sont faites à la longueur d'onde  $\lambda = 425$  nm et les résultats ont été exprimés en mg/l. Les teneurs en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et en orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ont été mesurées sur 10 ml d'échantillon en utilisant respectivement nitrite + poudre TOCA + nitrate et phosphate 1 + phosphate 2. Dix minutes après l'introduction des réactifs, les lectures ont été faites aux tests correspondants après étalonnage avec l'échantillon brut, et les résultats sont exprimés en mg/l de  $\text{NO}_3^-$  pour les nitrates et mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$  pour les orthophosphates.

De même, les MES, la turbidité et la couleur ont été mesurés par colorimétrie à l'aide d'un Hydrotest HT1000 sur 10 mL d'échantillon et les lectures ont été faites aux tests correspondants après étalonnage avec l'eau distillée. Les résultats sont exprimés en mg/l pour les MES, en Formazing Turbidity Unit (FTU) pour la turbidité et en Platinum-Cobalt (Pt-Co) pour la couleur.

## **II.2.3- Macroinvertébrés benthiques**

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

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques a été fait selon l'approche multi-habitat (Stark *et al.*, 2001, Rodier *et al.*, 2009) suivant une fréquence mensuelle, à l'aide d'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. Pour chaque station d'étude et à chaque campagne d'échantillonnage, une vingtaine de traits d'épuisette a été effectué sur une surface approximative de  $3\text{m}^2$ . Les organismes retenus par les mailles du filet ont été collectés à l'aide d'une paire de pinces fines et fixés au formol à 10 %.

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

Au laboratoire, les spécimens capturés sont lavés à l'eau courante puis conservés dans l'éthanol à 70° avant les opérations d'identification et de comptage. Pour chaque



station, les organismes sont introduits dans des boîtes de pétri de 90 mm de diamètre. Regroupés suivant leurs caractères généraux, leur taille et leur morphologie, ils sont identifiés et dénombrés sous une loupe binoculaire de marque WILD M3B à éclairage épiscopique, à l'aide des clés d'identification et ouvrages de Durand et Levêque (1991), Tachet *et al.* (2006), Heidemann et Seidenbusch (2002), Day *et al.* (2002), De Moor *et al.* (2003), Stals et De Moor (2007) et Moisan (2006).

#### **II.2.4- Analyse des données**

Les données récoltées durant cette étude ont été traitées et analysées à l'aide des logiciels statistiques (SPSS 20.0 ; Past, Matlab et R Studio). Ainsi, l'abondance relative, la richesse taxonomique, l'indice de diversité de Shannon et Weaver, l'indice d'Équitabilité de Piélou, l'indice de Simpson, la fréquence d'occurrence ont été calculés. En outre, des analyses univariées et des analyses multivariées ont été appliquées : la Self Organizing Map (SOM), l'Analyse en Composantes principales (ACP), l'analyse Canonique des Correspondances (ACC), l'analyse de classification hiérarchique (ACH) et la méthode IndVal ou Indicator Value (Dufrêne et Legendre, 1998).

##### **II.2.4.1- Fréquence d'occurrence**

La fréquence d'occurrence ou de constance notée C est le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre (p) d'échantillons (ou prélèvements) où l'espèce i apparaît sur le nombre total (P) d'échantillons (Dajoz, 2000). Cet indice est basé sur la matrice de Présence/Absence et se calcule selon la formule :

$$C(\%) = P_i/P \times 100$$

Avec,  $P_i$  = nombre de prélèvements où l'espèce i est représentée ; P = nombre total de prélèvements.

Selon la valeur de C, on distingue cinq groupes d'espèces (Dufrêne et Legendre, 1997):  
C=100%, espèces omniprésentes ; C =] 100 ; 75], espèces régulières ; C=] 75 ; 50], espèces constantes ; C =] 50 ; 25], espèces accessoires; C =] 25 ; 0[, espèces rares ou accidentelles.

## II.2.4.2- Indice de diversité

### II.2.4.2.1- Indices de diversité de Shannon et Weaver (H') (1963)

Cet indice a permis d'estimer la diversité taxonomique du peuplement des macroinvertébrés benthiques par la formule :

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

H' = indice de Shannon & Weaver ; P = proportion du *i*<sup>ème</sup> taxon sur le nombre total d'organismes ; n = nombre de taxon.

L'indice de diversité de Shannon et Weaver varie entre 0 (peuplement dominé par un seul taxon) et  $\log_2 S$  (tous les taxons sont également représentés), avec S : nombre total de taxons dans l'échantillon.

### II.2.4.2.2 - Indice d'équitabilité (J) de Piélou (1969)

L'indice d'équitabilité (J) de Piélou permet de mesurer l'équirépartition des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces (Barbault, 1995). Les valeurs de l'équitabilité varient de 0 (dominance d'un taxon) à 1 (équirépartition des taxons).

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

J = indice d'équitabilité de Piélou ; H' = indice de Shannon & Weaver ; S : nombre total de taxons dans l'échantillon).

### II.2.4.2.3- Indice de Simpson (D)

L'Indice de Simpson (D) renseigne sur la dominance d'une ou de plusieurs espèces. Il se calcule selon la formule suivante (Grall *et al.*, 2005) :

$$D = \frac{\sum [n_i (n_i - 1)]}{[N (N - 1)]}$$

$n_i$  = nombre d'individus dans l'espèce *i* ; N = nombre total d'individus dans l'échantillon.

Il exprime le déséquilibre des abondances entre espèces. Lorsque D tend vers 0, il exprime une diversité maximale, c'est-à-dire une dominance de taxons et lorsque D tend vers 1 la diversité est minimale avec une forte dominance d'une ou de deux taxons.

#### II.2.4.3- Analyses univariées

Une analyse de variances pour vérifier la normalité des variables environnementales et faunistiques a été réalisée avec le test de Shapiro-Wilk. Le cas échéant, les tests non-paramétriques de Kruskal- Wallis (Test H) et Mann-Whitney (Test U) ont été appliqués pour respectivement tester la signification des différences spatio-temporelles. Les tests H et U ont été calculés à l'aide du logiciel SPSS version 20.0.

#### II.2.4.4- Analyses multivariées

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman mesure les degrés de liaison entre les variables abiotiques d'une part, puis entre les variables abiotiques et biotiques d'autre part. Ce coefficient se calcule selon la formule suivante :

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

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

Les analyses multivariées ou analyses de la statistique descriptive ou explorative permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables (il s'agit d'aller au-delà de l'étude d'une seule ou de deux variables). Ce sont des méthodes purement descriptives c'est-à-dire qu'elles ne supposent à priori aucun modèle sous-jacent, de type probabiliste (Baccini, 2010). Les analyses multivariées permettent de répondre à des problématiques variées dont les plus couramment utilisées sont les méthodes d'ordination et les méthodes de classification (Glèlè Kakaï, 2016).

#### **II.2.4.4.1- Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)**

L'ACH est une méthode de classification qui consiste à rassembler des objets dans des classes de plus en plus larges, sur la base de certaines mesures de similarité ou de dissimilarité (distance euclidienne) (Krzanowski, 1988 ; Glèlè kakaï, 2016). Les résultats de cette classification sont généralement représentés sous la forme d'un dendrogramme. L'ACH se distingue de toutes les autres par le fait qu'il utilise une analyse de variance approchée afin d'évaluer les distances entre les classes (Ward, 1963). Pour cette étude, l'ACH a été utilisée pour regrouper les stations en fonction d'une part, de leurs similarités abiotiques, et d'autre part, en fonction de similarité des peuplements de macroinvertébrés sur la base des abondances moyennes des taxa. La distance euclidienne a été employée dans cette analyse de classification ascendante (Williams *et al.*, 1971) et la méthode de Ward utilisée comme critère d'agrégation (Ihaka et Gentleman, 1996). Le logiciel statistique R a été utilisé pour cette analyse.

#### **II.2.4.4.2- Analyse Canonique de Correspondance (ACC)**

L'analyse canonique des correspondances (ACC) relie les données provenant des assemblages et les paramètres environnementaux (ter Braak, 1986). L'ordination produit un diagramme où les taxons et les sites sont représentés par des points et les variables environnementales par des vecteurs. La projection des points perpendiculairement aux vecteurs permet de relier chaque taxon ou site par rapport à chaque variable (Ter Braak, 1986 ; Legendre et Legendre, 1998 ; Wiens *et al.*, 2001).

Selon Manly (1995), une telle analyse comporte trois étapes : le calcul du poids de chaque facteur ("factor loading") à partir d'une matrice de corrélation, la rotation orthogonale « varimax » pour la normalisation des poids des facteurs et le calcul des «scores» des taxons. Afin de mettre en évidence, l'influence des paramètres physicochimiques sur la dynamique et les abondances relatives des principaux taxons d'invertébrés rencontrés, une analyse canonique des correspondances a été réalisée. Pour tester l'importance statistique des axes d'ordination, le test de Monte-Carlo a été effectué. Cette analyse a également été faite à l'aide du logiciel 'R'.

#### **II.2.4.4.3- Analyse en Composantes Principales (ACP)**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique factorielle descriptive dont l'objectif est de présenter sous forme graphique le maximum

de l'information contenue dans un tableau de données de taille importante (Philippeau, 1992). C'est une technique qui permet de récapituler en deux ou quelques variables synthétiques, les « composantes principales », la majorité de l'information étant contenue dans les variables initiales.

Le tableau de données « n » × « p » forme ainsi un nuage de « n » points dans un espace à « p » dimensions. Chaque composante principale (dimension) explique une quantité plus ou moins importante des informations de départ. Les composantes principales sont classées par ordre décroissant de la quantité d'information qu'elles expliquent. En général, les deux à trois premières composantes principales suffisent pour expliquer 60 à 70% de l'information contenue dans la matrice de départ (Ouro-Boya, 2004). Les composantes principales sont obtenues par la diagonalisation d'une matrice qui, suivant la nature des variables initiales, est soit la matrice des corrélations, soit la matrice des covariances (Legendre et Legendre, 1979). La phase finale de l'ACP consiste en une représentation graphique qui permet d'avoir un aperçu des résultats que les expressions numériques ne fournissent pas.

L'analyse en composantes principales a été utilisée dans cette étude en prenant en compte les facteurs environnementaux afin de regrouper les échantillons de différentes campagnes d'échantillonnage. Ce regroupement des échantillons suivant les paramètres abiotiques d'une part et des paramètres biologiques d'autre part permet d'établir les caractéristiques physicochimiques, mais également des caractéristiques biologiques qui définissent le mieux chaque zone d'échantillonnage et lui confèrent son identité, suivant les différentes saisons considérées (Kampa *et al.*, 2000 ; Lazaridou-Dimitriadou *et al.*, 2000). Le logiciel statistique R a été utilisé pour cette analyse.

#### **II.2.4.4.4- Self Organizing Maps (SOM)**

La Self Organizing Maps (SOM) ou cartes de Kohonen ou réseaux de neurones artificiels (Kohonen, 1982 et 2001) a été utilisée pour traiter les données multifactorielles et non linéaires donc complexe (Baran *et al.*, 1999 ; Giraudel et Lek, 2001 ; Gevrey *et al.*, 2003 et 2004 ; Aguilar Ibarra *et al.*, 2005 ; Lek *et al.*, 1996 ; 2000). Elles organisent les stations en fonction de leur similarité sur la base de la matrice d'abondance des taxa.

En effet, la matrice d'entrée contient les variables faunistiques ( $x_{ij}$ ) de chaque station d'échantillonnage ( $s_j$ ). Une fois que la SOM (Self Organizing Map) a déterminé les

poids de connexion ( $p_{ij}$ ) sous forme d'erreur minimale d'apprentissage, on obtient la carte et la couche de sortie ou « nodes » (Figure 12).

Une fois la carte de Kohonen obtenue, un algorithme d'analyse de classification hiérarchique (ACH) basée sur la méthode Ward comme critère d'agrégation et la distance Euclidienne permet ensuite de mettre en évidence des assemblages des stations réels sur la carte (Dufrière, 1992 ; Park *et al.*, 2003). Cet algorithme est exécuté grâce à la SOM Toolbox pour Matlab, version 6.1 (Alhoniemi *et al.*, 2000).

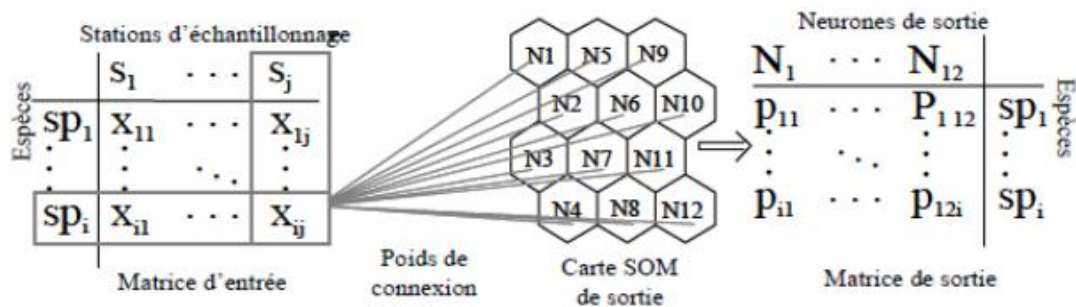


Figure 12 : Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice de Kohonen

#### II.2.4.4.5 - Méthode «Indval»

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

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

$$A_{ij} = \frac{\text{Nombre d'individus}_{ij}}{\text{Nombre d'individus}_i} \quad (1); \quad B_{ij} = \frac{\text{Nombre de sites}_{ij}}{\text{Nombre de sites}_i} \quad (2); \quad \text{IndVal} = (A_{ij} \times B_{ij}) \cdot 100 \quad (3)$$

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

La valeur indicatrice des espèces pour les différents niveaux est de plus contrôlée par une procédure de permutation aléatoire le test de permutation de Monte-Carlo en l'occurrence. Ce test a permis de vérifier si la préférence d'une espèce pour un groupe est significativement plus élevée que ne laisse supposer une distribution aléatoire (Legendre et Legendre, 2012). Cette procédure répartit les données de présence de l'espèce de nombreuses fois dans les différents groupes et compare pour chaque niveau du groupement, la moyenne de la valeur  $IndVal$  ainsi calculée à la valeur  $IndVal$  obtenue pour le groupement de départ. Si cette dernière valeur est significativement plus grande que la moyenne des valeurs obtenues de façon aléatoire, l'espèce peut être considérée comme réellement indicatrice du niveau du groupement. Ce test est surtout utile pour les espèces qui n'ont pas une fidélité importante.

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

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



### III.1- Résultats

#### III.1.1- Données granulométriques

Les échantillons de sédiments prélevés au niveau de chaque station ont été répartis en quatre classes granulométriques différentes à savoir le sable fin (SF), le sable grossier (SG), le granulat et le gravier (Tableau VII). Selon leurs proportions dans chaque station, la nature du substrat de fond a été déterminée. Ainsi, les stations M1 et M2 se caractérisent par un substrat dominé par du gravier, tandis que les autres stations (B1, B2, B3, S1, S2, S3, L1, L2 et L3) sont dominées par un substrat composé essentiellement du sable grossier (SG) (Tableau VIII)

Tableau V : Données granulométriques des stations pendant la période d'étude

Stations	< 0,75 mm	0,75mm-1,5mm	1,5 mm - 1,7mm	1,7mm-2,36mm	2,36mm-3,35mm	3,35mm-4,75mm	> 6,7mm
M1	1,65	37,40	2,35	2,72	4,72	9,89	41,27
M2	1,11	8,30	2,28	3,33	5,95	12,21	66,82
B1	4,91	81,06	1,21	1,76	2,13	1,81	7,11
B2	3,85	91,10	1,35	1,00	0,70	0,86	1,14
B3	3,87	89,54	1,67	1,67	1,19	1,03	1,03
S1	1,22	73,94	8,96	6,38	4,02	2,64	2,84
S2	1,38	63,33	8,15	7,08	5,03	4,88	10,14
S3	1,22	70,47	10,45	5,94	2,29	1,70	7,94
L1	1,62	44,91	4,98	3,86	3,83	5,43	35,37
L2	1,61	52,22	10,15	9,73	7,77	7,88	10,64
L3	2,17	33,14	7,71	9,76	9,98	11,71	25,53

Tableau VI : Caractérisation granulométrique et sédimentométrique des stations

Stations	Granulométrie				Nature du substrat
	SF	SG	Granulat	Gravier	
M1	1,65	39,75	7,43	51,15	Gravier
M2	1,11	10,58	9,28	79,03	
B1	4,91	82,27	3,89	8,92	SG
B2	3,85	92,44	1,70	1,99	
B3	3,87	91,20	2,86	2,05	
S1	1,22	82,89	10,40	5,48	
S2	1,38	71,48	12,11	15,01	
S3	1,22	80,91	8,23	9,63	
L1	2,17	40,85	19,73	37,23	
L2	1,61	62,36	17,49	18,52	
L3	1,62	49,89	7,68	40,80	

### **III.1.2- Données physicochimiques**

#### **III.1.2.1- Variable physiques**

##### **III.1.2.1.1- Température**

Dans le cours d'eau Métyi, les températures moyennes oscillent entre 22,93° C en GSS et 25,15°C en GSP. Les plus faibles températures moyennes ont été enregistrées en GSS à la station M3 et les plus fortes valeurs en GSP à la station M2 (Figure 13A'). Les faibles températures obtenues en GSP sont influencées par la température du mois de février à la station M3 (22,30°C). Par contre les plus fortes températures observées à la GSP sont dues à la température très élevée du mois d'octobre à la station M2 (25,40°C) (Figure 13A). Le test de Krsukal Wallis montre des différences significatives d'une saison à l'autre ( $p = 0,047$ ). Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et la GSP ( $p = 0,022$ ) également entre la PSP et la GSP ( $p = 0,018$ ). Sur le plan temporel, aucune différence significative n'est observée d'un mois à l'autre.

Dans le cours d'eau Bengo'o, les valeurs moyennes de température fluctuent de 25,5°C en PSS à 25,15 en GSP. Les plus faibles valeurs moyennes sont enregistrées en PSS aux stations B1 et B3 alors que la plus forte valeur moyenne a été enregistrée en GSP à la station B3 (Figure 13B'). Les faibles valeurs obtenues en GSP sont dues à la température du mois de février à la station B3 (23,40°C), alors que les plus fortes valeurs de température obtenues en PSS seraient influencées par la température du mois d'octobre à la station B3 (25,80°C) (Figure 13B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'une saison à l'autre ( $p = 0,001$ ). Mann Whitney lui relève des différences entre la GSS et la PSP ( $p = 0,029$ ) ; la GSS et PSS ( $p = 0,029$ ) ; la GSS et la GSP ( $p = 0,002$ ) ; la PSP et la PSS ( $p = 0,009$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p = 0,009$ ). Sur le plan temporel, le test H de Krsukal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $P < 0,05$ ). Le test U de Mann Whitney relève des différences ( $p < 0,05$ ) entre le mois de février-mars ; mars-avril ; juin-juillet ; juillet-août ; août-septembre ; décembre 2019 et janvier.

Dans le cours d'eau Sounou, les moyennes des températures varient de 21,8°C en PSS à 24,13°C en GSS. La plus faible valeur moyenne a été observée en PSS à la station S2 et la plus forte valeur moyenne a été enregistré en GSS à la station S3 (Figure 13C'). Les faibles valeurs de température observées à la PSS sont influencées par la température du mois de juillet à la station S2 (21,80°C) alors que les plus fortes valeurs de température

observées à la GSS sont dues à la température élevée du mois de Mars aux stations S2 et S3 (25,20°C) (Figure 13C). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'une saison à l'autre ( $p = 0,002$ ). Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et PSS ( $p = 0,009$ ) ; la PSP et la PSS ( $p = 0,009$ ) ; la PSP et la GSP ( $p = 0,013$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p = 0,009$ ). Sur le plan temporel, Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ). Le test U de Mann Whitney ressort des différences ( $p < 0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; janvier-février ; février-mars ; mars-avril ; mai-juin ; juin-juillet ; juillet-août ; août-septembre ; septembre-octobre et novembre-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes des températures ont oscillé de 21,1°C en PSS à 24,23°C en GSS. La valeur la plus faible a été observée en PSS à la station L2 tandis que la plus forte valeur a été observée en GSS à la station L1 (Figure 13D'). La faible valeur de température obtenue en PSS est due la température du mois de juillet à la station L2 (22,10°C), tandis que les fortes valeurs de température obtenues en GSS seraient dues à la forte température du mois de mars à la station L2 (25,10°C) (Figure 13D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p = 0,001$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSS ( $p = 0,009$ ) ; la GSS et la GSP ( $p = 0,003$ ) ; la PSP et la PSS ( $p = 0,009$ ) ; la PSP et la PSS ( $p = 0,032$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p = 0,009$ ). Sur le plan temporel, le test H de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ). Le test U de Mann Whitney relève des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois d'avril-mai ; mai-juin ; juin-juillet, juillet-août ; août-septembre ; octobre-novembre ; novembre-décembre 2019 ; décembre 2019-décembre 2018.

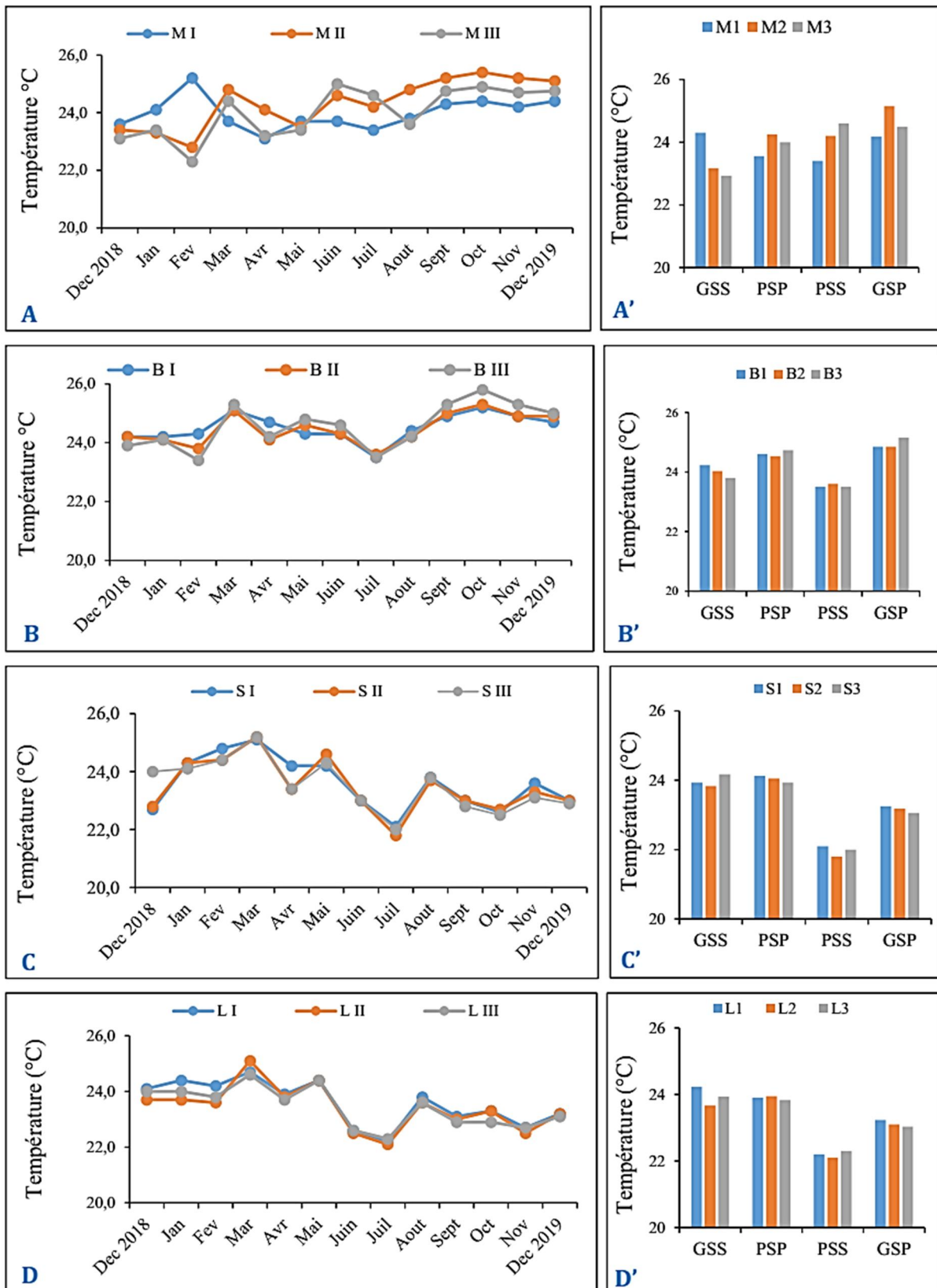


Figure 13 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de température dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.1.2- Total Dissolved Solid (TDS)

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes des TDS varient de 10 mg/l pendant la GSS et la PSS à 15 mg/l en PSP. Les plus fortes valeurs de TDS ont été enregistrées dans les trois stations (M1, M2 et M3) en PSP, alors que les plus faibles valeurs ont été enregistré dans les stations M2 et M3 (GSS) et M1, M2 et M3 (PSS) (Figure 14A'). Les fortes valeurs obtenues en PSP sont dues aux élevées des mois de mars (30 mg/l) dans les stations M1 et M3 et avril (30 mg/l) à la station M2 (Figure 14A). Le test de kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p = 0,529$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne révèle pas de différence significative d'un mois à l'autre ( $p > 0,05$ ).

Dans le cours d'eau Bengo'o, les valeurs moyennes des TDS dans le cours d'eau Bengo'o ont oscillé de 52,5 mg/l (PSP et GSP) à 80 mg/l (GSS). Les plus fortes valeurs sont relevées aux stations B1 et B3, tandis que les plus faibles valeurs de TDS sont obtenues aux stations B1 et B2 (PSP) et B1, B2 et B3 (GSP) (Figure 14B'). Les valeurs faibles observées en PSP et GSP sont liées à la très faible valeur du mois de mars (20 mg/l) à la station B2, alors que les fortes valeurs moyennes sont dues aux valeurs du mois de février dans les trois stations (B1, B2 et B3) (Figure 14B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p = 0,000$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et la PSP ( $p = 0,000$ ) ; la GSS et la GSP ( $p = 0,000$ ) ; la PSP et la PSS ( $p = 0,037$ ) et enfin la PSS et la GSP ( $p = 0,019$ ). Sur le plan temporel, le test Kruskal Wallis ressort des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ) et le test de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-Janvier ; janvier-février ; février-mars ; mars-avril ; avril-mai ; juin-juillet ; septembre-octobre ; octobre-novembre ; novembre-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes des TDS ont fluctué de 10 mg/l (PSP, PSS et GSP) à 30 mg/l (PSS). La plus forte valeur a été obtenue à la station S3 (Figure 14C'). La forte valeur de TDS obtenue en PSS est directement liée à la valeur du mois juillet (30 mg/l) à la station S3, alors que les plus faibles valeurs obtenues sont dues à la valeur de 10 mg/l obtenue dans presque toutes les périodes (Figure 14C). Le test de kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p = 0,064$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis relève des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ). Le test

U de Mann Whitney ressort des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois de janvier-février ; février-mars.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes des TDS varient de 10 mg/l (PSP, PSS et GSP) à 20 mg/l (GSS et PSS). Les plus fortes valeurs ont été observées dans les stations (L2 et L3) alors que les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées dans toutes les stations (L1, L2 et L3) (Figure 14D'). Les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS et PSS sont dues à la valeur de 30 mg/l des mois de décembre 2018, janvier et février dans presque toutes les stations (Figure 14D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p = 0,001$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et la PSP ( $p = 0,001$ ) ; la GSS et GSP ( $p = 0,004$ ) et enfin entre la PSP et PSS ( $p = 0,046$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un moi à l'autre ( $p < 0,05$ ), et le test de Mann Whitney signal de différences entre les mois de février et mars.

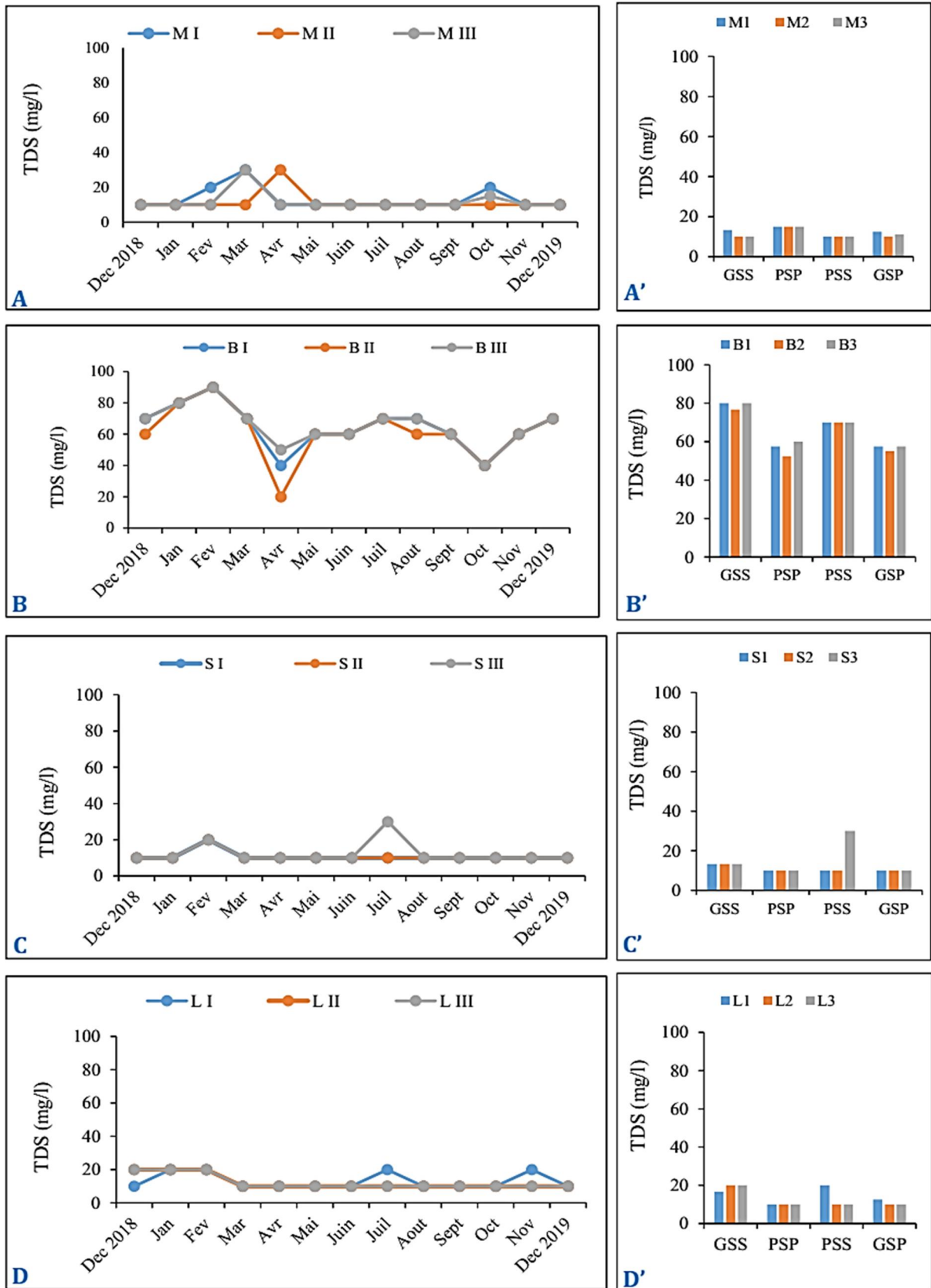


Figure 14 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des TDS dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.1.3- Matières en Suspension (MES)

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes des MES ont fluctué de 1 mg/l (PSS) à 107,75 mg/l (PSP). La plus faible valeur moyenne a été obtenue à la station M3 alors que la plus forte valeur moyenne a été obtenue à la station M1 (Figure 15A'). La faible valeur moyenne obtenue en PSS est due à la valeur du mois de juillet à la station M3 (1 mg/l), tandis que la plus forte valeur obtenue en PSP est due à la très forte valeur enregistrée au mois de mars à la station M1 (393 mg/l) (Figure 15A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,099$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne montre également pas de différence significative ( $p>0,05$ ) d'un moi à un autre.

Dans le cours d'eau Bengo'o, les valeurs moyennes des MES balancent de 7 mg/l (PSS) à 103 mg/l (PSP). Les fortes valeurs ont été observées à la station B3 alors que les faibles valeurs moyenne ont dans les stations B1, B2 et B3 (Figure 15B'). Les faibles valeurs moyennes observées en PSS sont dues aux valeurs enregistrées au moi de juillet dans les trois stations, tandis que les fortes valeurs moyennes observées sont influencées par les très fortes valeurs enregistrées au mois de mars dans les trois stations (Figure 15B). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,555$ ) d'une saison à l'autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis relève des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney montre les différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois d'octobre-novembre.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes ont varié de 5 mg/l (PSS) à 107,25 mg/l (PSP). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à la station S2 en PSP, alors les valeurs les plus faibles ont été enregistrées à la station S1 (Figure 15C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont dues à la valeur du mois de juillet à la station S1, tandis que les plus fortes valeurs obtenues en PSP sont influencées par les valeurs très élevées du mois de mars dans les trois stations (Figure 15C). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,099$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un moi à un autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney ressort des différences significative ( $p<0,05$ ) entre les mois août-septembre ; septembre-octobre.



Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes ont varié de 1,0 mg/l (en PSS) à 106,25 mg/l (PSP). La plus forte valeur a été notée à la station L3 en PSP, alors que la plus faible valeur moyenne a été enregistrée à la station L2 (Figure 15D'). Les plus fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues aux très fortes valeurs enregistrées au mois de mars dans les stations L1, L2 et L3 (Figure 15D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,024$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et PSS ( $p=0,036$ ) ; la GSS et la GSP ( $p=0,015$ ) et enfin entre PSP et la GSP ( $p=0,037$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney relève des différences significatives ( $p<0,05$ ) les mois d'octobre et novembre.

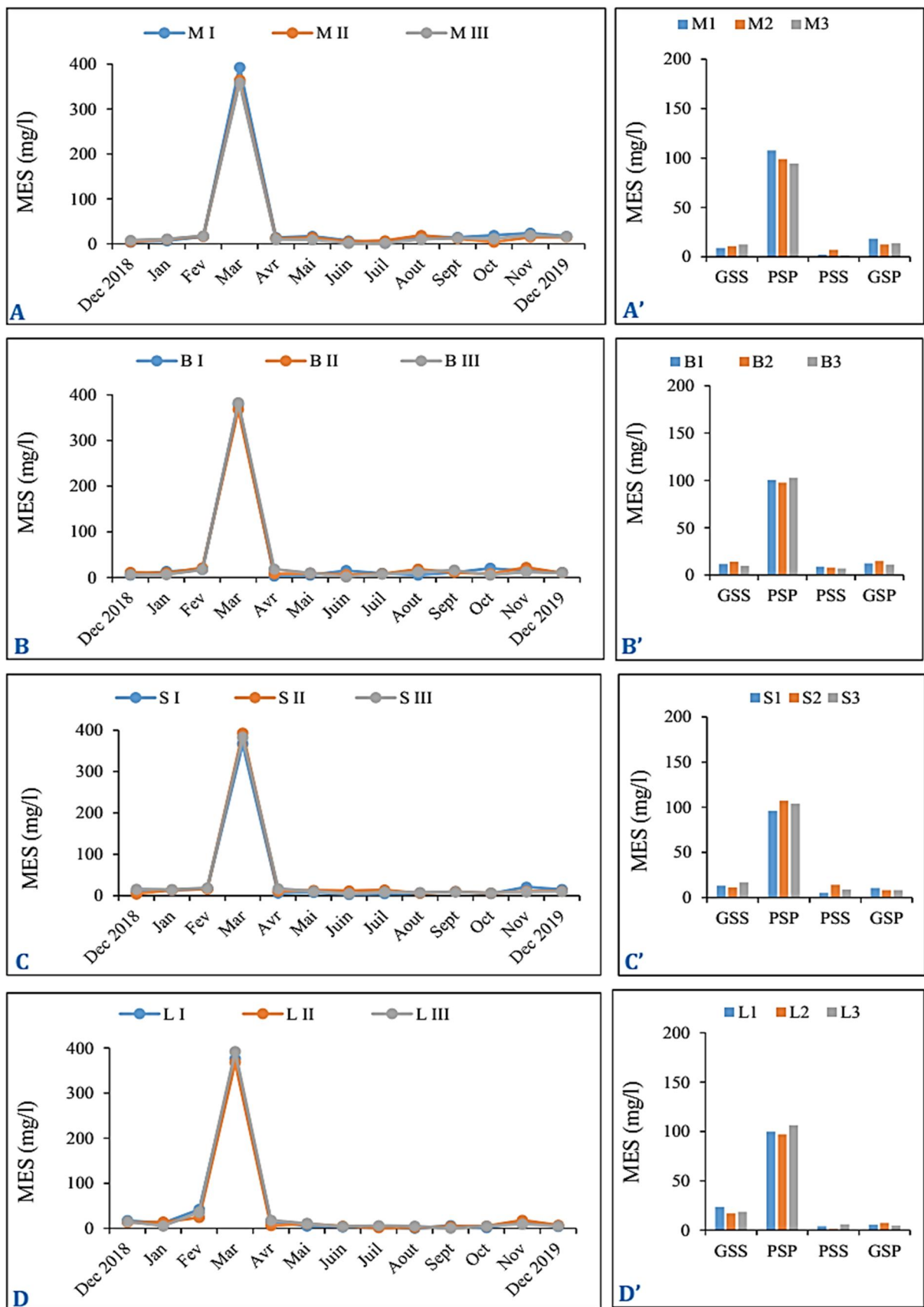


Figure 15 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des MES dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

#### III.1.2.1.4- Turbidité

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes de la turbidité ont varié de 1 FTU (PSS) à 71,25 FTU (PSP). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées aux stations M1 et M2 en PSP (Figure 16A'). Les plus fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont liées aux valeurs très élevées enregistrées au mois de mars dans les trois stations M1, M2 et M3 (Figure 16A). Le teste de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,009$ ) d'une saison à l'autre. Le test e Mann Whitney ressort des différences significatives entre la GSS et la PSS ( $p=0,009$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,009$ ) et enfin entre la PSS et GSP ( $p=0,009$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de mai-juin ; juin-juillet ; juillet-août ; et août-septembre.

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes de la turbidité ont oscillé de 6,5 FTU (GSP) à 66,5 FTU (PSP). Les plus fortes valeurs ont été observées dans les trois stations B1, B2 et B3, tandis que la plus faible valeur a été enregistrée à la station B2 en GSP (Figure 16B'). Les faibles valeurs moyennes observées en GSP sont influencées par la valeur très faibles du mois de février à la station B2, tandis que les fortes valeurs obtenues en PSP sont très influencées par les valeurs extrêmement élevées du mois de mars dans les trois stations B1, B2 et B3 (Figure 16B). Le test de Kruska Wallis montre des différences significatives ( $p=0,026$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la GSP ( $p=0,005$ ) et entre la PSP et la GSP ( $p=0,027$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruska Wallis montre aucune différence significative entre les différents mois ( $p>0,05$ ).

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes de la turbidité ont fluctué entre 3 FTU (PSS) et 71,25 FTU (PSP). La plus forte valeur a été notée dans la station S2 en PSP, tant disque la plus faible valeur a été observée à la station S1 en PSS (Figure 16C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont dues à la valeur du mois de juillet à la station S1, tandis que les fortes valeurs moyennes observées en PSP seraient fortement liées aux valeurs du mois de mars dans les trois stations S1, S2 et S3 (Figure 16C). Le ttes de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,270$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test H de Kruskal Wallis ne montre également aucune différence significative ( $p>0,05$ ) d'un moi à un autre.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes de la turbidité ont oscillé de 1FTU (PSS) à 68,75 FTU (PSP). La plus faible valeur de turbidité ont été notées aux stations L2 et L3 en PSS, alors que la plus forte valeur a été enregistrée à la station L3 en PSP (Figure 16D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS seraient due aux valeurs du mois de juillet dans les stations L2 et L3, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSP seraient dues aux très fortes valeurs enregistrées au mois de mars dans les trois stations (Figure 16D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,031$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney ressort des différences significatives entre la PSP et la PSS ( $p=0,009$ ) et entre la PSS et la GSP ( $p=0,009$ ). Sur le plan temporel, le Kruskal Wallis montre des différences significatives entre les différents mois ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney, ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de février-mars ; mars-avril ; avril-mai ; juin-juillet ; juillet-août ; novembre-décembre 2019 et décembre 2019-décembre 2018.

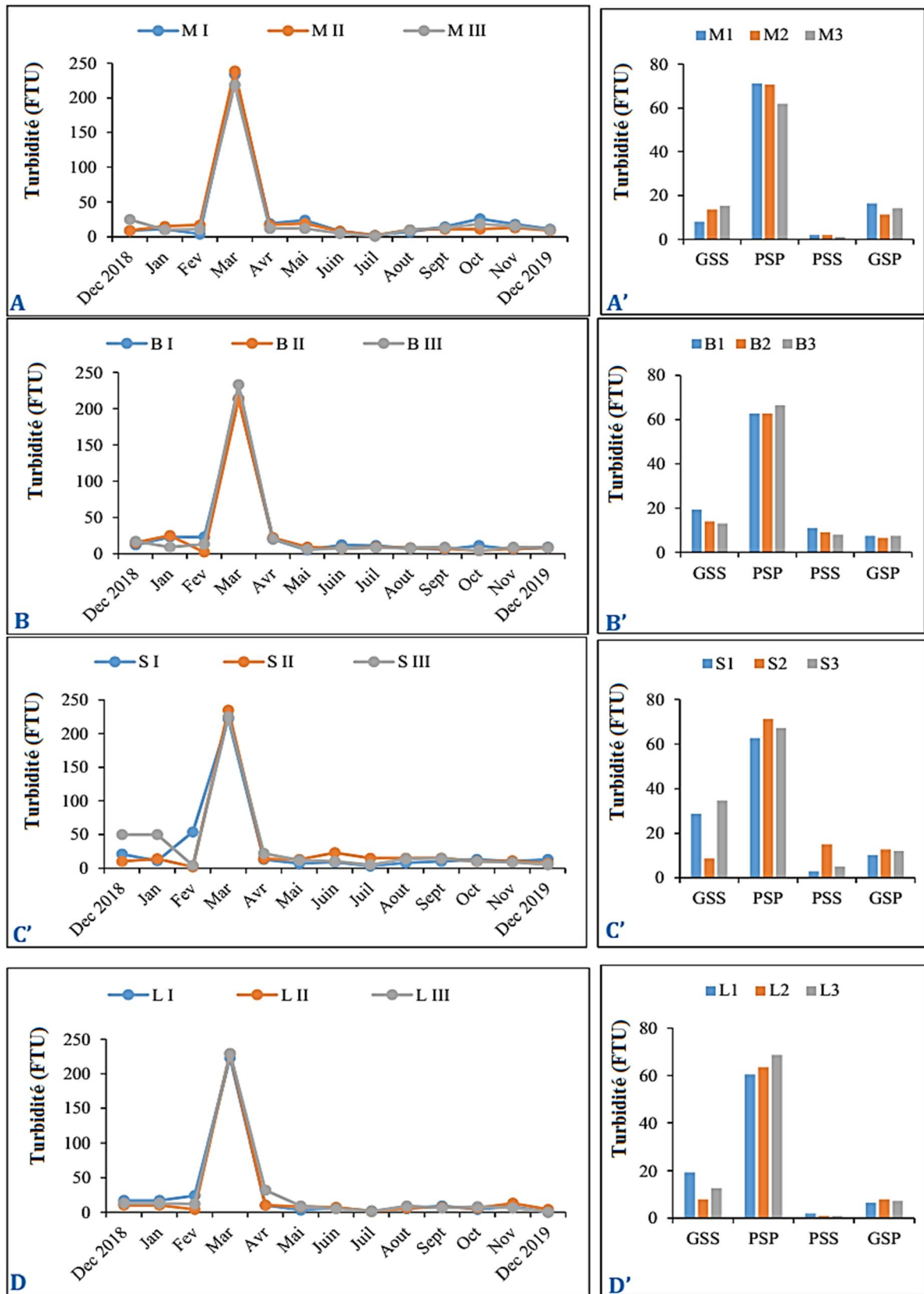


Figure 16 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la turbidité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.1.5- Couleur

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes de la couleur ont varié de 139,33 Pt.Co en GSS à 344 Pt.Co en GSP. La faible valeur moyenne a été enregistrée à la station M1 alors que la plus forte valeur moyenne a été enregistrée également dans la même station (M1) (Figure 22A'). Les valeurs moyennes faibles obtenues en GSS sont dues à la faible valeur obtenue à la station M1 en décembre 2018, tandis que les fortes valeurs moyennes sont influencées par la valeur de la station M1 du mois d'octobre (Figure 22 A). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,010$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,018$ ) ; la GSS et la GSP ( $p=0,009$ ) et enfin la PSS et la GSP ( $p=0,009$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne signale aucune différence entre les mois ( $p>0,05$ ).

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes de la couleur ont varié de 122,33Pt.Co en GSS à 336 Pt.Co en PSS. La plus forte valeur moyenne a été enregistrée à la station B1 en PSS, tandis que la plus faible valeur moyenne a été notée à la station B3 GSS (Figure 22B'). La faible valeur moyenne obtenue en GSS est due à la valeur très faible obtenue à la station B3 au mois de décembre 2018 (33 Pt.Co) alors que la plus forte valeur moyenne obtenue en PSS est due à la valeur enregistrée à la station B1 au mois de juillet (Figure 22B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,005$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et PSS ( $p=0,009$ ) ; la GSS et la GSP ( $p=0,018$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,009$ ) et enfin la PSS et la GSP ( $p=0,009$ ). Sur le plan temporel, le test H de Kruskal Wallis relève des différences significatives entre les mois ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; juillet-août ; août-septembre.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes de la couleur ont fluctué de 163 Pt.Co (S2, GSS) 355 Pt.Co (S2, PSS). Les plus fortes valeurs moyennes de la couleur, ont été observées à la station S2 en PSS alors que les plus faibles moyennes ont été notées à la station S2 en GSS (Figure 22C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par la très faible valeur enregistrée à la station S2 au mois de décembre 2018 (84 Pt.Co), tandis que les fortes valeurs obtenues en PSS sont dues à la valeur de juillet à la station S2 (Figure 22C). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives

( $p=0,000$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,011$ ) ; la GSS et la PSS ( $p=0,009$ ) et enfin entre la GSS et la GSP ( $p=0,000$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne révèle aucune différence significative sur le ( $p>0,05$ ).

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes de la couleur ont oscillé de 160,33 Pt.Co (L3, GSS) à 245 Pt.Co (L3, PSS). Les plus fortes valeurs moyennes ayant été observées à la station L3 alors que la plus faible valeur moyenne a été notée à la station L3 (Figure 22D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la valeur enregistrée à la station L2 au mois de mars (118 Pt.Co) tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSS sont dues à la valeur enregistrée à la station L3 au mois d'avril (Figure 22D). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p=0,431$ ). Sur le plan temporel, le test H de Kruskal Wallis ne signale aucune différence significative ( $p>0,05$ ).

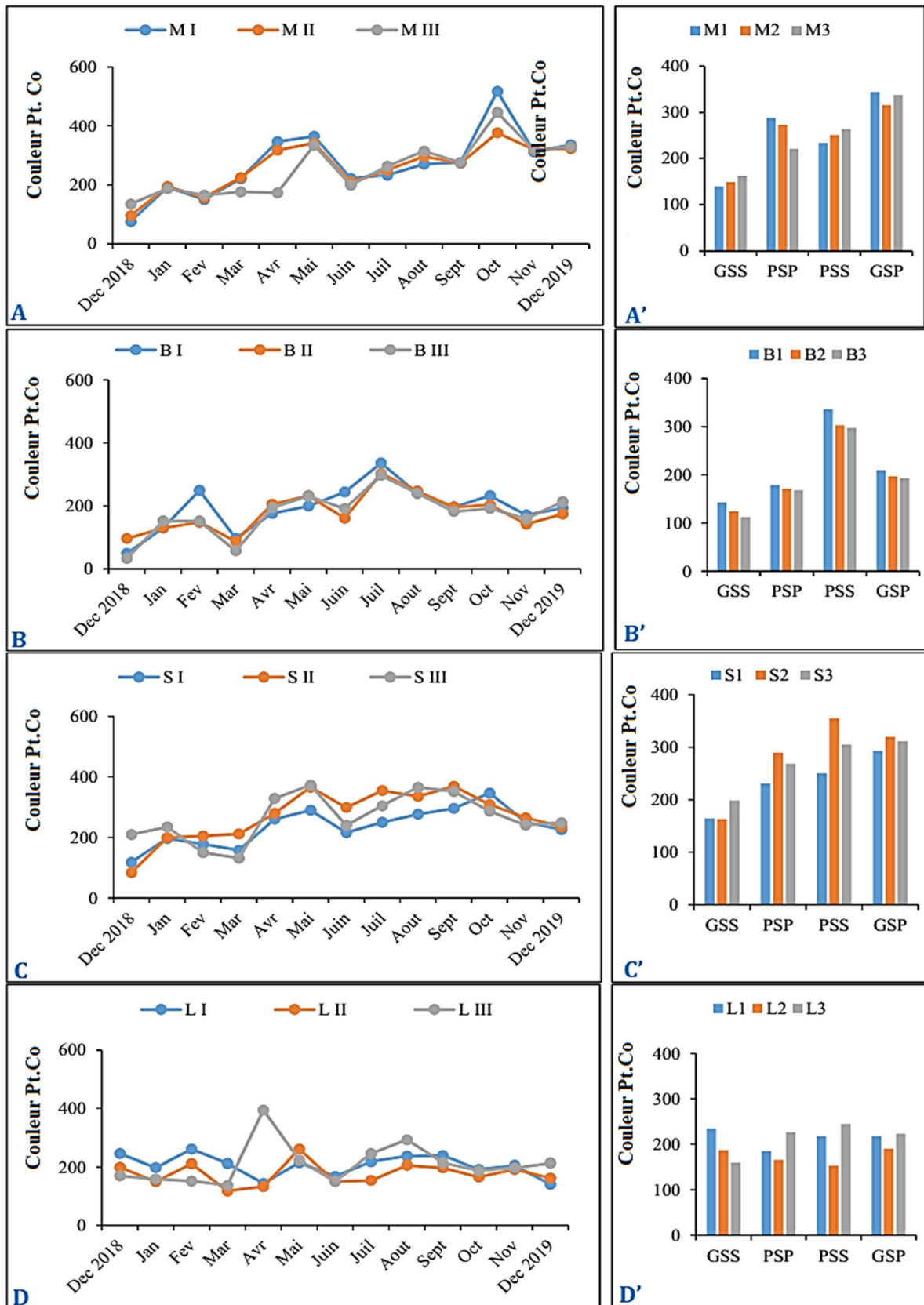


Figure 17 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la couleur dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).



### III.1.2.2- Variables chimiques

#### III.1.2.2.1- Potentiel d'Hydrogène (pH)

Dans le cours d'eau Métyi, la valeur moyenne des pH varie de 5,34 UC en PSP à 6,22 UC en GSP. La plus faible valeur étant observée à la station M3 alors que la plus forte valeur moyenne a été enregistrée à la station M1 (Figure 18A'). La plus faible valeur de pH obtenue en PSP est due au pH du mois d'avril à la station M3 (4,30 UC), tandis que la plus forte valeur de pH obtenue en GSP est influencée par le pH du mois de Novembre à la station M1 (7,51 UC) (Figure 18A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p = 0,247$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ).

Dans le cours d'eau Bengo'o, la moyenne des pH varie de 5,65 UC en GSS à 6,97 en PSS. Les faibles moyennes ont été observées aux stations B2 et B3 alors que la plus forte moyenne a été enregistré à station B3 (Figure 18B'). Les faibles valeurs de pH observé en GSS sont influencées par le pH du mois de février à la station B2 (5,08 UC) tandis que les fortes valeurs obtenues en PSS seraient dues à la valeur élevée du mois de novembre à la station B1 (8,11 UC) (Figure 18B). Le test de Kruska Wallis montre des différences significatives d'une saison à l'autre ( $p = 0,002$ ) et le test de Mann Whitney révèle les différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p = 0,033$ ) ; la GSS et PSS ( $p = 0,009$ ) ; et enfin la GSS et la GSP ( $p = 0,001$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis relève des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ). Le test de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois de février-mars ; mars-avril ; juillet-août ; août-septembre.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes des différents pH ont varié de 5,11 UC en PSS à 5,78 UC en GSP. La plus faible valeur moyenne a été observée à la station S2 tandis que la plus forte valeur moyenne est enregistrée à la station S2 également (Figure 18C'). Les faibles valeurs de pH observées en PSS sont dues à la faible valeur obtenue au mois de décembre 2019 à la station S3 (2,29 UC), alors que les fortes valeurs de pH observées en PSS seraient influencées par la valeur très élevée de pH du mois de novembre à la station S3 (7,66 UC) (Figure 18C). Le test de kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p = 0,739$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différent significativement d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ).

Dans le cours d'eau Lo'o, les moyennes des différentes valeurs varient de 5,11 en GSS à 6,14 en GSP. Les faibles et les fortes valeurs moyennes de pH ont été observées à la station L1 (Figure 18D'). Les faibles valeurs de pH obtenues en GSS sont liées aux valeurs du mois d'octobre à la station L3 (4,55 UC) alors que les fortes valeurs de pH obtenues en GSP sont dues aux valeurs élevées obtenues en novembre à la station L1 (8,31 UC) (Figure 18D). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p = 0,387$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne montre pas de différence significative d'un mois à l'autre ( $p < 0,05$ ).

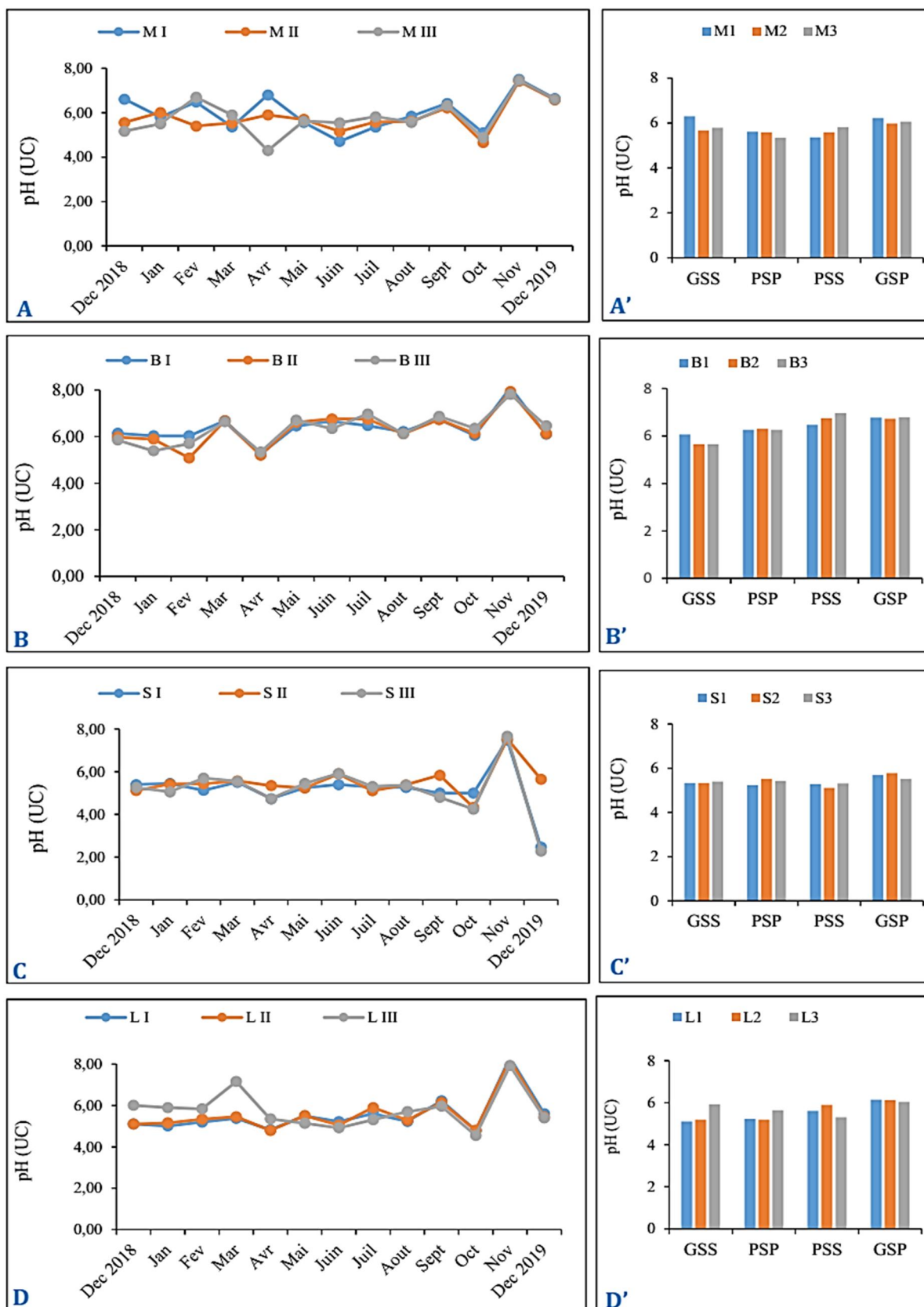


Figure 18 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de pH dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.2- Oxygène dissous

Dans le cours d'eau, les teneurs moyennes en oxygène dissous ont oscillé de 26,51 % en GSP à 81,9% en GSS. Les faibles teneurs moyennes ont été enregistrées à la station M2 tandis que les fortes teneurs moyennes ont été enregistrées aux stations M2 et M3 (Figure 19A'). Les faibles teneurs en oxygène dissous obtenues en GSP sont dues aux faibles valeurs du mois d'octobre à la station M2 et novembre dans les trois stations (M1, M2 et M). Par contre les fortes teneurs enregistrées en GSS sont liées fortes valeurs des mois de décembre-2018, janvier et février à la station M2, mais aussi à la station M3 durant le mois de février (Figure 19A). Le test de Kruskal Wallis, montre une différence significative ( $p=0,002$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et GSP ( $p=0,001$ ) et entre la PSP et la GSP ( $p=0,005$ ). Sur le plan temporel, le test e Kruskal Wallis relève des différences significatives ( $p<0,005$ ) d'un mois à l'autre et le tes de Mann Whitney ressort des différences entre les mois de février et mars ( $p<0,005$ ).

Dans le cours d'eau Bengo, les teneurs moyennes en oxygène dissous varient de 45% en PSS à 87,3% en GSS. Les faibles teneurs ont été enregistrées à la station B1 alors que les fortes teneurs en oxygènes dissous ont été enregistrées dans toutes les stations (B1, B2 et B3) (Figure 19 B'). Les faibles teneurs en oxygène dissous obtenues en PSS seraient dues à la valeur du mois de juillet à la station B1, tandis que les fortes teneurs de la GSS sont influencées par les valeurs obtenues aux mois de décembre-2018, janvier et février dans toutes les stations (B1, B2 et B3) (Figure 19B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,033$ ), la GSS et la PSS ( $p=0,009$ ), la GSS et la GSP ( $p=0,001$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,030$ ) et la PSP et la GSP ( $p=0,004$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne signale aucune différence significative entre les différents mois ( $p=>0,005$ ).

Dans le cours d'eau Sounou, les teneurs moyennes en oxygène dissous oscillent entre 11% en PSS et 88% en GSS. Les faibles teneurs moyennes ont été enregistrées à la station S2 tandis que les plus fortes teneurs moyennes ont été obtenues dans les trois stations (S1, S2 et S3) (Figure 19C'). Les faibles teneurs obtenues en PSS sont dues à la valeur du mois de juillet dans la station S2, par contre les fortes teneurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par les valeurs des mois de décembre-2018, janvier et

février dans toutes les stations (S1, S2 et S3) (Figure 19C). Le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives ( $p=0,002$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,021$ ), la GSS et la PSS ( $p=0,021$ ), la GSS et la GSP ( $p=0,005$ ) et entre la PSP et la PSS ( $p=0,021$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne donne aucune différence significative ( $p>0,05$ ) d'un mois à l'autre.

Dans le cours d'eau Lo'o, les teneurs moyennes en oxygène dissous ont varié de 15% en PSS à 85% en GSS. Les faibles teneurs moyennes ont été enregistrées à la station L3, alors que les fortes teneurs moyennes ont été obtenues dans les trois stations (L1, L2 et L3) (Figure 19D'). Les faibles teneurs moyennes obtenues en PSS sont liées à la valeur du mois de juillet à la station L3, tandis que les fortes teneurs moyennes obtenues en GSS sont dues aux valeurs des mois de décembre-2018, janvier et février dans toutes les stations (L1, L2 et L3) (Figure 19D). Le test de Kruskal Wallis relève de différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney ressort des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,001$ ), la GSS et la PSS ( $p=0,014$ ), la GSS et la GSP ( $p=0,000$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,025$ ) et entre la PSP et la GSP ( $p=0,014$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives ( $p<0,005$ ) d'un mois à un autre. Le test de Mann Whitney ressort une différence significative entre le mois de janvier et février.

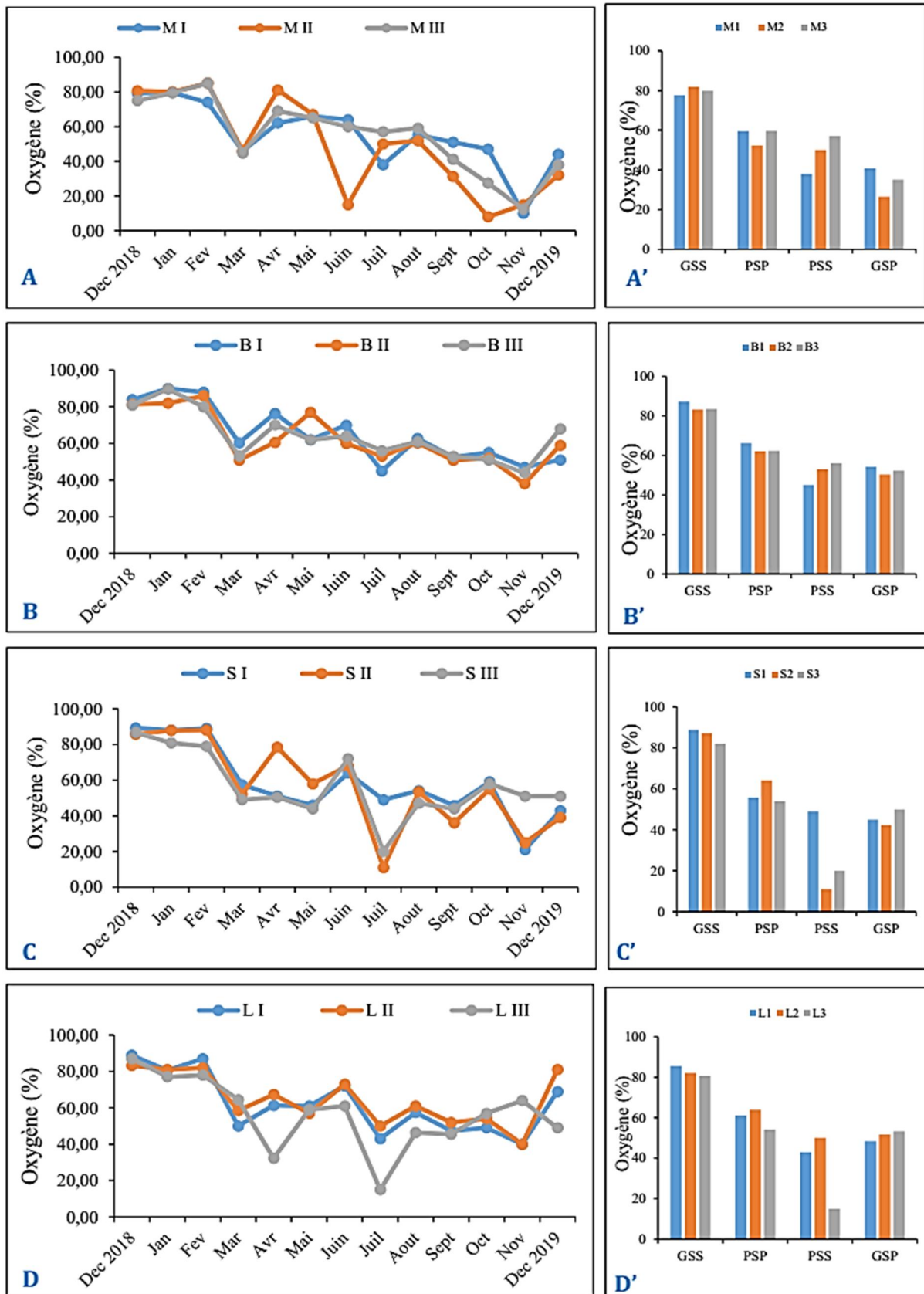


Figure 19 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des teneurs moyennes en oxygène dissous dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.3- Conductivité électrique

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs de la conductivité ont varié de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (GSS, PSS et GSP) à 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PSP et GSP). Les plus fortes valeurs de la conductivité ont été relevées en M1 (GSS, PSP, GSP) (Figure 20A') alors que les plus faibles valeurs sont enregistrées dans les trois stations M1, M2 et M3. Les faibles valeurs sont dues à la valeur 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue à la station M3 au mois de janvier, tandis que la plus forte moyenne est due à la valeur très élevée 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue à la station M1 pendant le mois de mars (Figure 20A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,430$ ) d'une saison à l'autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'un mois à l'autre ( $p>0,05$ ).

Dans le cours d'eau Bengo'o, les valeurs moyennes de la conductivité ont oscillé de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PSP) à 156,67 (GSS). Les plus fortes valeurs ont été enregistrées aux stations B1 et B3 en GSS (Figure 20B') alors que la plus faible valeur a été obtenue à la station B2. Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont due à la faible valeur du mois d'avril à la station B2 (70  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Par contre la plus les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont liées aux valeurs très élevées 170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  du mois de février dans les trois stations (B1, B2 et B3) (Figure 20B). Le test de kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test U de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et PSP ( $p=0,000$ ) ; la GSS et la PSS ( $p=0,028$ ) ; la GSS et GSP ( $p=0,000$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,008$ ) et enfin la PSP et la GSP ( $p=0,041$ ). Sur le plan temporel, Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ). Le test U de Mann Whitney lui ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; janvier-février ; février-mars ; mars-avril ; avril-mai ; juin-juillet ; septembre-octobre ; octobre-novembre et novembre-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes de la conductivité électrique ont varié de 22,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PSP et GSP) à 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PSS). Les plus fortes valeurs de conductivité électrique ont été enregistrées à la station S3 en PSS, alors les plus faibles moyennes ont été enregistrées aux stations S1 et S2 (PSP) et S1, S2 et S3 (GSP) (Figure 20C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP et GSP sont dues à la valeur de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue dans plusieurs mois et dans divers stations, tandis que la forte valeur moyenne obtenue en PSS

est due à la forte valeur de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  enregistrée au mois de juillet à la station S3 (Figure 20C). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,019$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la GSP ( $p=0,038$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,023$ ) et enfin entre PSS et la GSP ( $p=0,012$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ). Le test de Mann Whitney lui montre des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois janvier-février ; février-mars.

Dans le cours d'eau Lo'o, les moyennes des conductivités électriques ont fluctué de 22,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PSP et GSP) à 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (GSS). Les moyennes les plus élevées ont été enregistrées aux stations L2 et L3 en GSS, alors que les plus faibles moyennes ont été relevées aux stations L1, L2 et L3 (PSP) et L2 et L3 (GSP) (Figure 20D'). Les plus fortes valeurs moyennes enregistrées en GSS sont dues à la valeur de 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue dans les stations L2 et L3 durant les mois de décembre 2018, janvier et février. Par contre les plus faibles valeurs moyennes obtenues en PSP et GSP sont influencées par la valeur de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue dans toutes les stations durant les mois d'avril, mai et juin ; mais aussi aux stations L2 et L3 durant les mois de septembre, octobre et novembre (Figure 20D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,001$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney, relève des différences significatives entre la GSS et PSP ( $p=0,001$ ) ; la GSS et la GSP ( $p=0,002$ ) et enfin entre la PSP et PSS ( $p=0,022$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ). Le test de Mann Whitney révèle des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de février-mars ; mars-avril ; juin-juillet.



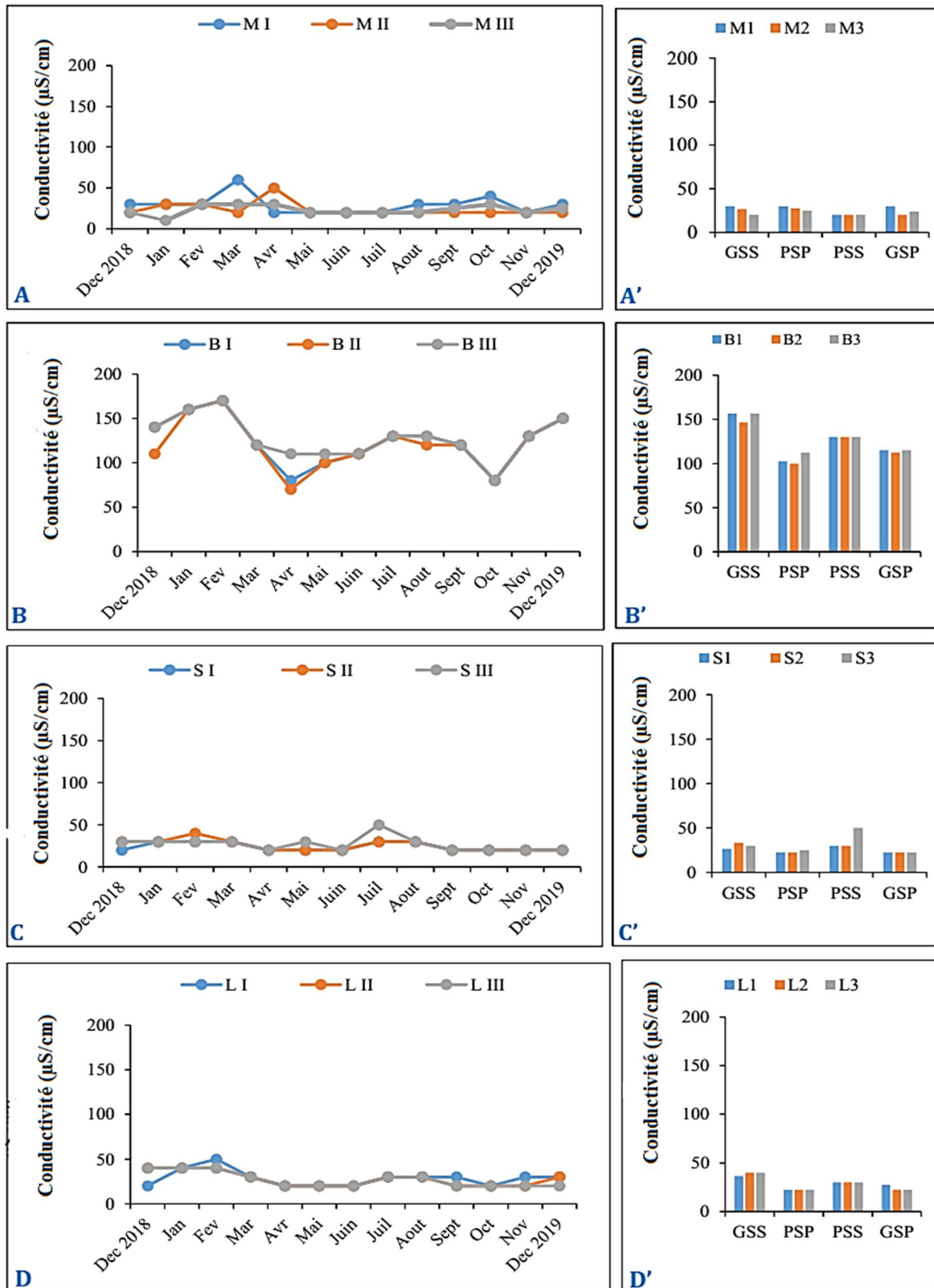


Figure 20 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de la conductivité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

#### III.1.2.2.4- Alcalinité

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes de l'alcalinité ont varié de 1,41 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (GSP) à 3 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (PSS). Les plus faibles valeurs moyennes de l'alcalinité ont été enregistrées à la station M2 alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été notées aux stations M1 et M3 (Figure 21A'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont dues aux valeurs obtenues dans les trois durant les mois d'août et novembre, alors que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSS sont dues aux valeurs enregistrées dans les stations M1 et M3 durant le mois de juillet (Figure 21A). Test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'une saison à l'autre ( $p=0,066$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de mai-juin ; juin-juillet ; juillet-août ; août-septembre et octobre-novembre.

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes de l'alcalinité dans le cours d'eau Bengo, ont varié de 3,33 mg/l de CaCO<sub>3</sub> en GSS mg/l à 7,75 mg/l de CaCO<sub>3</sub> en PSP. Les plus faibles valeurs ont été enregistrées aux stations B1, B2 et B3 en GSS tandis que les plus fortes valeurs ont été notées à la station B3 PSP (Figure 21B'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par les valeurs enregistrées en décembre 2018 (stations B2 et B3) et janvier (station B1), tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues à la fortes valeur enregistrée au mois d'avril à la station B3 (18 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) (Figure 21B). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,737$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne signale aucune différences significative ( $p>0,05$ ).

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes de l'alcalinité ont varié de 1,75 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (PSP, GSP) à 4 mg/l de CaCO<sub>3</sub> PSP. Les valeurs moyennes les plus faibles ont été enregistrées aux stations S2 et S3 en PSP et S3, GSP, alors que les valeurs moyennes les plus élevées ont été notées à la station S3 en PSP (Figure 21C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues aux valeurs enregistrées aux stations S2 et S3 durant le mois de mars à la station S1 durant le mois de juin, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues à la valeur très élevée enregistrée à la station S3 au mois d'avril (10 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) (Figure 21C). Le test de Kruskal Wallis ne

montre aucune différence significative ( $p=0,484$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significative entre les mois ( $p<0,05$ ). Le Test U de Man Whitney ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de juillet-août ; août-septembre et décembre 2018-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes de l'alcalinité ont oscillé de 2 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (GSS et PSS) à 4,75 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en PSP. Les plus fortes valeurs ont été enregistrées à la station L3 en PSP alors que les plus faibles valeurs ont été observées aux stations L1 en GSS ; L1 et L3 en PSS (Figure 21D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont dues aux valeurs enregistrées aux stations L1 et L3 au mois de juillet, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues PSP seraient liées à la valeur très élevée enregistrée à la station L3 au mois d'avril (Figure 21D). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,291$ ) d'une saison à l'autre. Sur le plan temporel, le Kruskal Wallis montre des différences significatives entre les mois ( $p<0,05$ ). Le test U de Mann Whitney ressort les différences significative entre les mois d'octobre-décembre 2019.

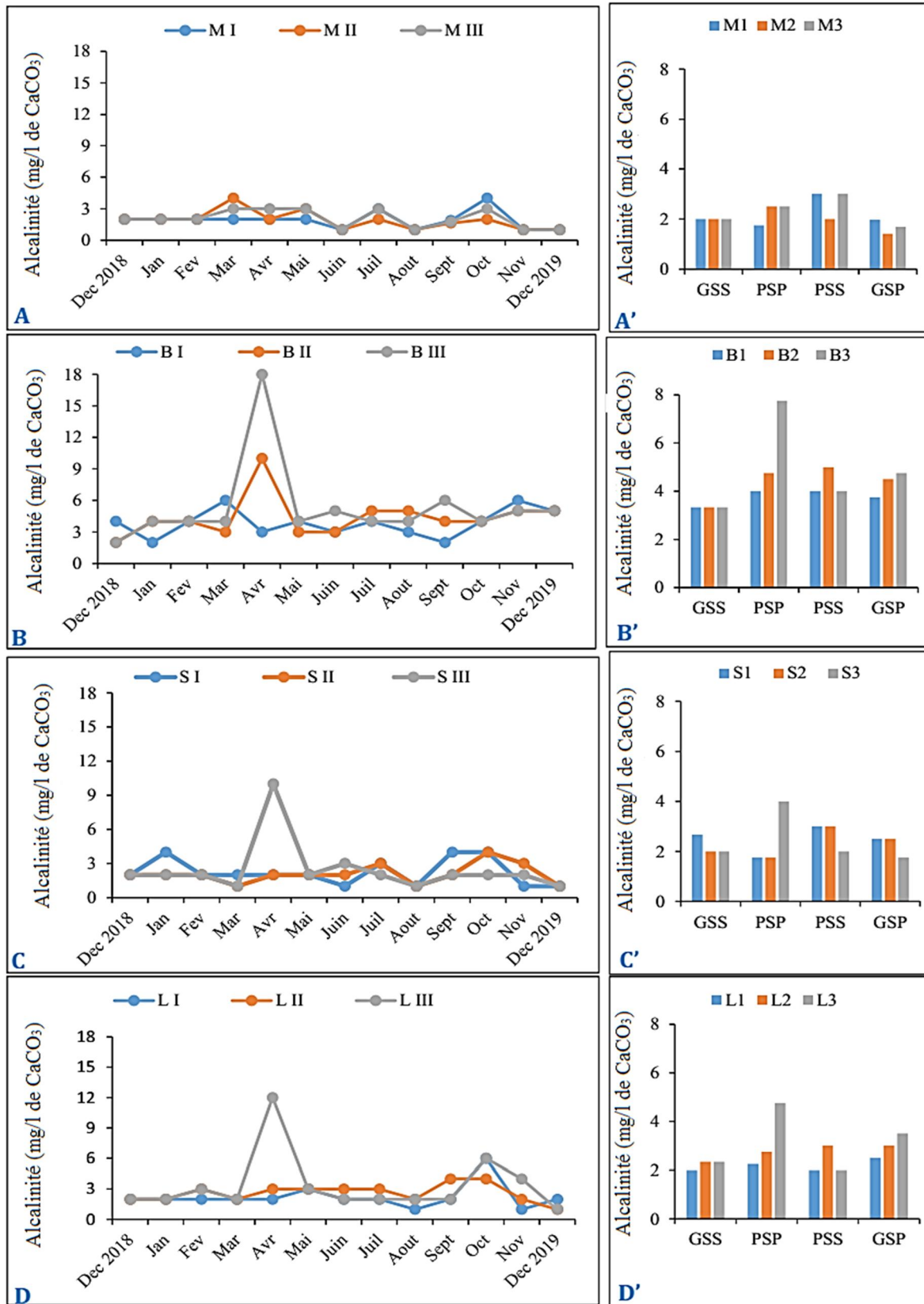


Figure 21 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'alcalinité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.5- Nitrates

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes des nitrates ont fluctué de 1,05 mg/l en GSP à 2,53 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées à la station M1 en GSP alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été observées dans la station M3 en GSS (Figure 22A'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont dues à la très faible valeur obtenue au mois de décembre 2019 à la station M1 (0,35 mg/l) alors que les plus fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par la valeur du mois de février à la station L3 (4,90 mg/l) (Figure 22A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,924$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $0<0,05$ ) et le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre les mois de décembre 2018-janvier et janvier-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes des nitrates ont oscillé entre 0,98 mg/l en PSP et 2,33 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées à la station B2 en PSP alors que les plus fortes valeurs moyennes des nitrates ont été observées dans la station B1 en GSS (Figure 22B'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues à la très faible valeur obtenue à la station B2 durant le mois de juin (0,2 mg/l) tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS seraient influencées par la valeur du mois de février à la station B1 (Figure 22B). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,332$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p<0,05$ ). Le test Mann Whitney relève des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; mai-juin et décembre 2019-janvier.

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes des nitrates ont vacillé de 1,25 mg/l en PSS à 2,57 mg/l GSS. Les plus faibles valeurs ont été enregistrées à la station S2 en PSS alors que les plus fortes valeurs des nitrates ont été observées dans la station S2 en GSS (Figure 22C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont liées aux valeurs obtenues durant le mois de juillet à la station S1, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS seraient dues à la valeur enregistrée à la station S2 au mois de décembre 2018 (Figure 22C). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,817$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale

des différences significatives d'un mois à un autre ( $p < 0,05$ ) et le test de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois de janvier-février ; décembre 2019-décembre 2018.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes de nitrates s'étalent de 0,85 mg/l en PSP à 2,7 en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées à la station L1 en PSP alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été observées dans la station L1 en GSS (Figure 22D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues à la valeur enregistrée de la station L1 au mois de mars, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par la valeur enregistrée à la station L1 au mois de février (Figure 22D). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p = 0,904$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis annonce des différences significatives entre les différents mois ( $p < 0,05$ ). Le test de Mann Whitney a ressorti les différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les mois de janvier-février ; février-mars et mars-avril.

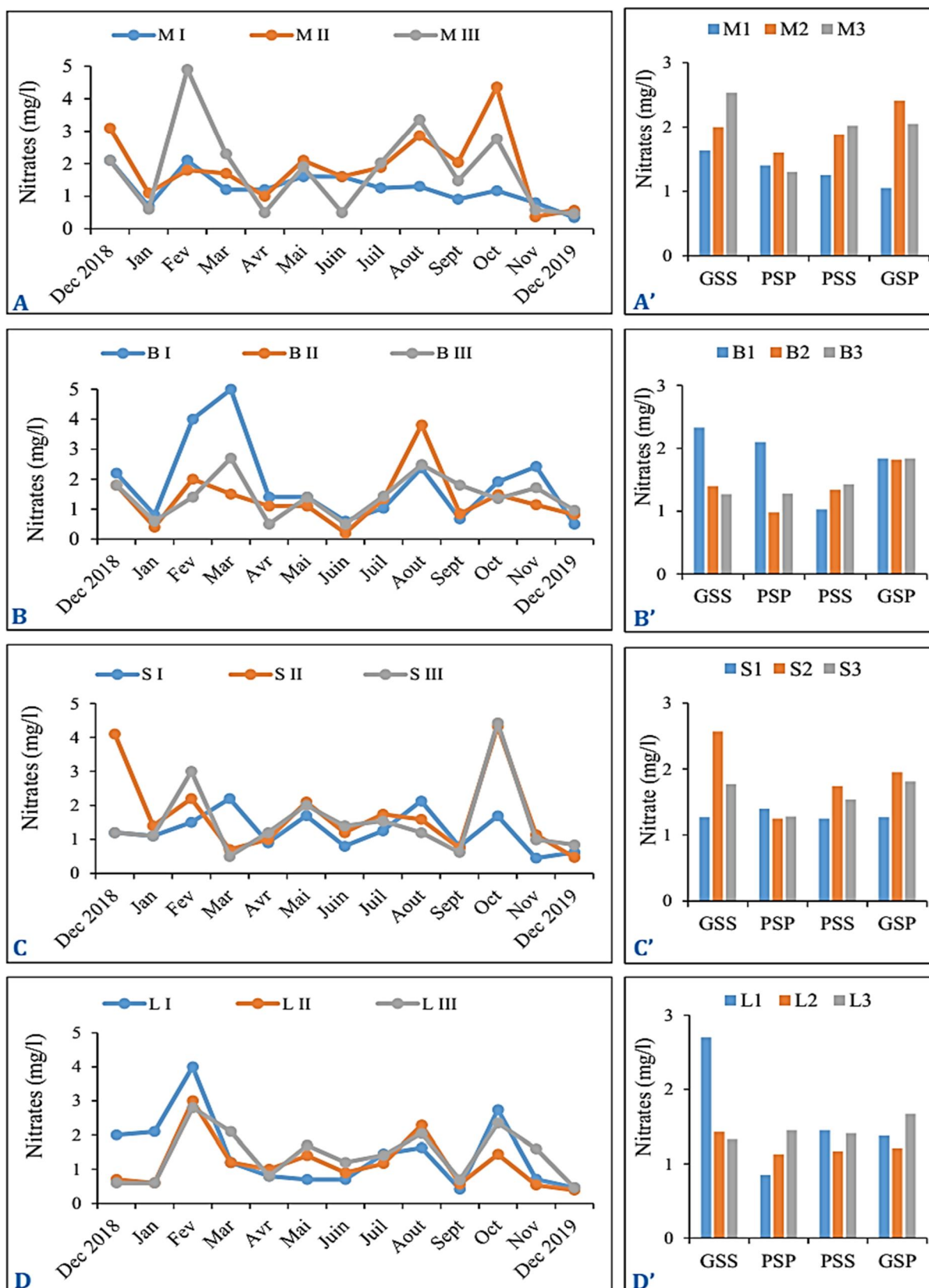


Figure 22 : Variation spatio-temporelle et saisonniere des valeurs moyennes des nitrates dans les differents cours d'eau pendant la periode d'etude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.6- Orthophosphates

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes des orthophosphates ont oscillé de 0,36 mg/l en GSP à 1,99 mg/l GSS. Les faibles valeurs moyennes ont été enregistrées à la station M2 en GSP alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été notées à la station M2 en GSS (Figure 23A'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont influencées par la valeur obtenue à la station M2 au mois d'août, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la valeur très élevées enregistrée à la station M2 au mois de février (Figure 23A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,359$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p<0,05$ ) d'un mois à l'autre.

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes des orthophosphates fluctuent entre 0,01 mg/l PSS à 1,97 GSS. Les faibles valeurs moyennes des orthophosphates ont été enregistrées à la station B3 en GSS alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été notées à la station B3 en GSS (Figure 23B'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont liées à la valeur enregistrées à la station B3 durant le mois de juillet, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues aux valeurs très élevées des stations B1 et B3 du mois de février (Figure 23B). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,236$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative d'un moi à l'autre (Figure 23B).

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes des orthophosphates ont modulé de 0,06 mg/l en PSP à 2,89 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes étant observées à station S1, tandis que les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées à la station S1 également (Figure 23C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont influencées par la très petite valeur enregistrée à la station S1 du mois de juin tandis que les fortes valeurs moyennes observées en GSS sont dues à la valeur très élevées de la station S1 du mois de février (Figure 23C). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,191$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis ne signale aucune différence significative d'un moi à l'autre ( $p<0,05$ ).



Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes des orthophosphates ont varié de 0,21 mg/l en PSP à 3,75 mg/l en GSS. Les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées dans les stations L1, alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été notées à L3 (Figure 23D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSP sont influencées par la petite valeur enregistrée à la station L1 du mois de juin tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la valeur très élevées de la station L3 durant le mois de février (Figure 23D). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,061$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale quelques différences significative entre les mois ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney, montre des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de janvier – juin.

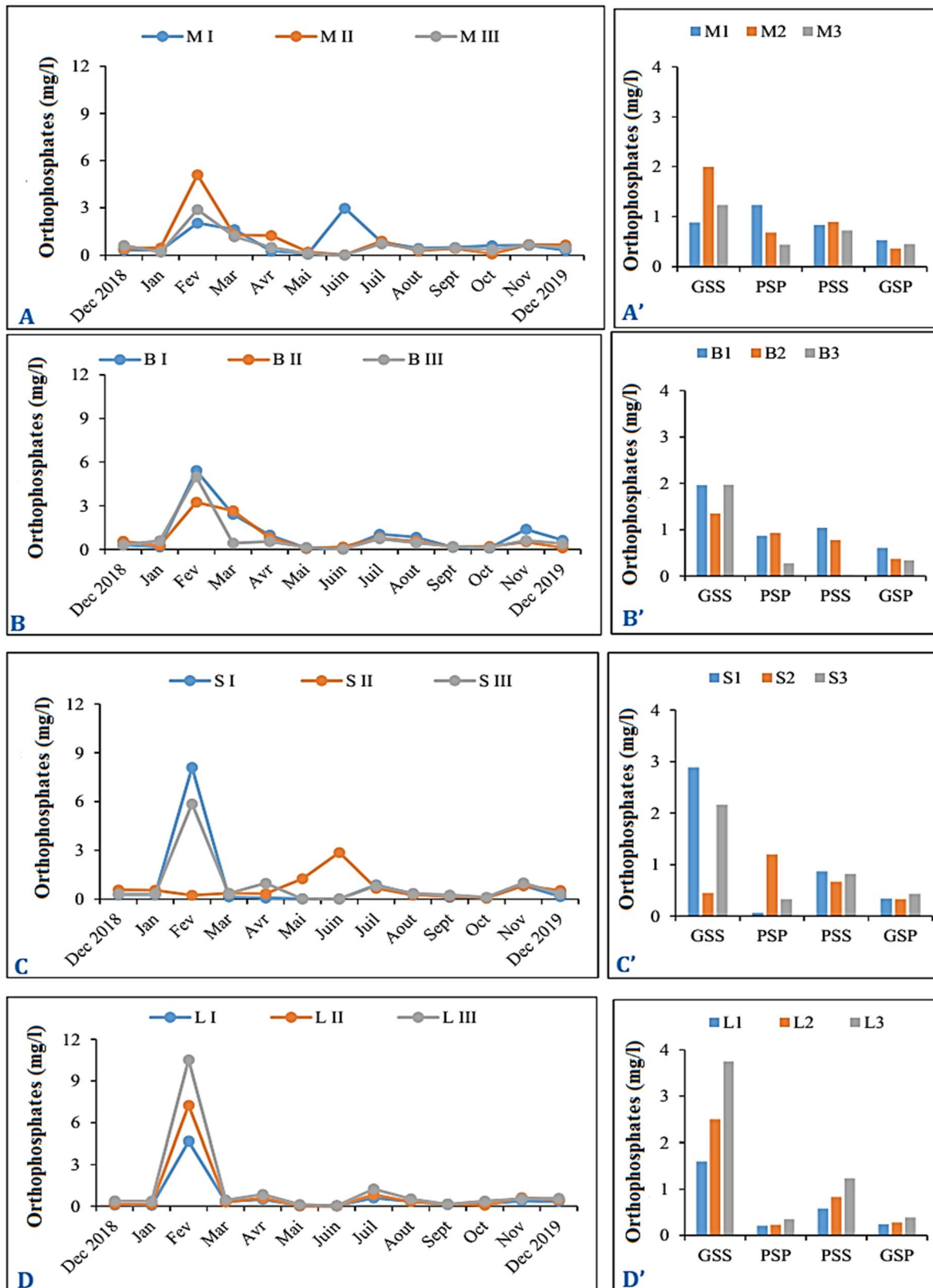


Figure 23 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes des orthophosphates dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.7- Ammonium

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes de l'azote ammoniacal fluctuent de 0,14 mg/l en PSS à 6,45 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées dans les trois stations M1, M2 et M3 en PSS par contre les plus fortes valeurs ont été enregistrées à la station M2 en GSS (Figure 24A'). Les faibles valeurs moyennes observées en PSS sont liées aux valeurs enregistrées au mois de juillet dans les 3 stations, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la valeur très élevée enregistrée au mois de février à la station M2 (Figure 24A). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,212$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives ( $p<0,05$ ), le test U de Mann Whitney ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; janvier-février ; mars-avril ; juillet-août et août-septembre.

Dans le cours d'eau Bengo, les valeurs moyennes de l'azote ammoniacal ont fluctué de 0,03 mg/l en PSS à 3,6 mg/l en PSP. Les plus faibles valeurs moyennes de l'azote ammoniacale ont été notées dans les stations B1, B2 alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées à la station B3 en PSP (Figure 24B'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont liées aux valeurs du mois de juillet dans les stations B1 et B2 tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues valeurs enregistrées à la station B3 durant le mois de mars (Figure 24B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,042$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney montre des différences significatives entre la PSP et la PSS ( $p=0,020$ ) ; et entre la PSP et la GSP ( $p= 0,011$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p<0,05$ ). Le test U de Mann Whitney montre des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018-janvier ; juin-juillet et août-septembre

Dans le cours d'eau Sounou, les valeurs moyennes de l'azote ammoniacal ont varié de 0,1 mg/l en PSS à 4,46 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées aux stations S1, S2 et S3 pendant la PSS tandis que les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées à la station S2 en GSS (Figure 24C'). Les plus faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont liées aux valeurs enregistrées au mois de juillet dans les trois stations, tandis que les plus fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la

valeur très élevée enregistrée au mois de février dans la station L2 (Figure 24C). Le test de Kruskal Wallis ne montre aucune différence significative ( $p=0,108$ ) d'une saison à une autre. Sur le plan temporel, Le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney ressort des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de mars-avril ; juin-juillet et novembre-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Lo'o, les valeurs moyennes de l'azote ammoniacale ont varié de 0,06 mg/l en PSS à 6,5 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées aux stations L1, L2 tandis que les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées à la station L3 en GSS (Figure 24D'). Les faibles valeurs moyennes observées en PSS sont directement liées aux valeurs du mois de juillet dans les stations L1 et L2, alors que les plus fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont influencées par la très forte valeur enregistrée à la station L3 au mois de février (Figure 24D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,012$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSS ( $0,025$  à ; la GSS et la GSP ( $p=0,018$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,043$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p=0,035$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney présente des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois d'avril-mai-juin ; novembre-décembre 2019-décembre 2018.

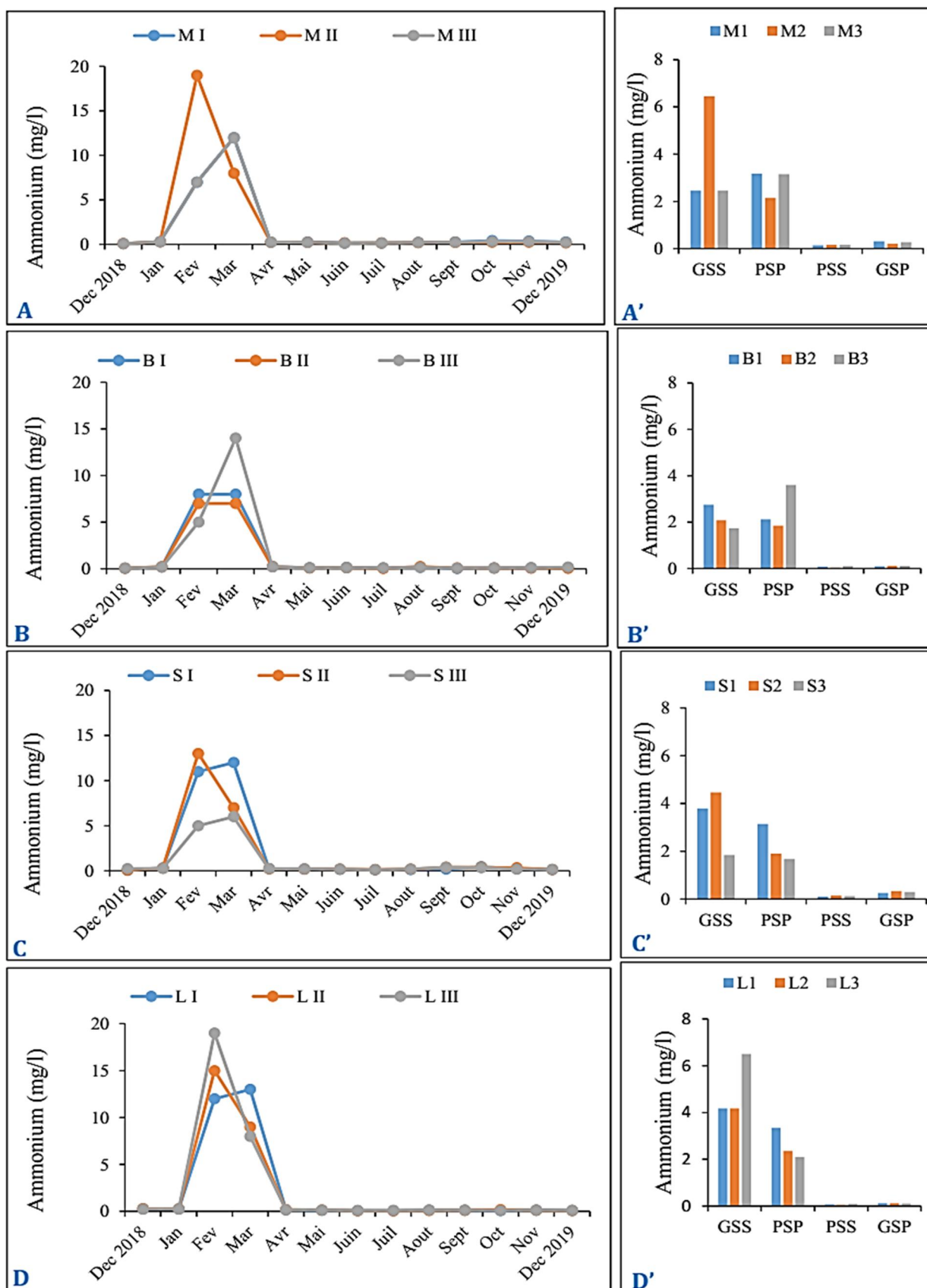


Figure 24 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'ammonium dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.2.8- Gaz carbonique

Dans le cours d'eau Métyi, les valeurs moyennes du CO<sub>2</sub> ont varié de 3,01 en GSP à 20,68 en PSP. Les plus faibles valeurs moyennes ont été enregistrées aux stations M1, M2 et M3 en GSP, par contre les plus fortes valeurs moyennes ont été observées à la station M1 en PSP (Figure 25A'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont influencées par les petites valeurs (0,88 mg/l) enregistrées dans les trois stations au mois de décembre 2019, alors que les fortes valeurs obtenues en PSP sont dues à la valeur très élevée (33,44 mg/l) enregistrée à station M1 au mois de mars (Figure 25A). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et PSP ( $p=0,001$ ) ; la PSP et la PSS ( $p=0,010$ ) et enfin entre la PSP et la GSP ( $p=0,000$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney ressort des différences entre les mois de janvier-décembre 2019.

Dans le cours d'eau Bengo, les teneurs moyennes en CO<sub>2</sub> ont varié de 1,54 mg/l en GSP à 17,16 mg/l en PSP. Les plus faibles teneurs moyennes ont été observées aux stations B2 et B3 alors que les plus fortes teneurs moyennes ont été notées aux stations B1, B2 et B3 (Figure 25B'). Les faibles teneurs moyennes en GSP sont dues teneurs très faibles (0,88 mg/l) enregistrées à B1 en décembre 2019 ; à B2 en novembre et à B3 en septembre, octobre et novembre, tandis que les fortes teneurs moyennes obtenues en PSP sont influencées par la teneur très élevée enregistrée à la station B3 en avril (Figure 25B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney ressort des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,002$ ) ; la PSP et la GSP ( $p=0,000$ ) et enfin entre la PSS et GSP ( $p=0,025$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis mentionne des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney ressort les différences significatives entre les mois de décembre 2018-janvier ; février-mars ; mars-avril ; avril-mai ; août-septembre et décembre 2019-janvier.

Dans le cours d'eau Sounou, les teneurs moyennes en CO<sub>2</sub> ont oscillé entre 1,47 mg/l en GSS et 18,04 mg/l (S1 et S2) en PSP. La plus faible valeur moyenne de CO<sub>2</sub> a été relevée à la station S1, alors que les plus fortes valeurs moyennes de CO<sub>2</sub> ont été

enregistrées aux stations S1 et S2 (Figure 25C'). Les faibles teneurs moyennes enregistrées en GSS sont dues à la très faible teneur enregistrée à la station S1 au mois de février tandis que les fortes teneurs obtenues en PSP sont influencées par les teneurs très élevées aux stations S1 et S2 durant le mois d'avril (Figure 25C). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,001$ ) d'une saison à l'autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP (0,003) ; la PSP et la GSP (0,001) et enfin entre la PSS et GSP (0,025). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives entre les mois ( $p<0,05$ ). Le test de Mann Whitney ressort des différences significatives entre les mois d'août –septembre.

Dans le cours d'eau Lo'o, les teneurs moyennes en CO<sub>2</sub> ont oscillé entre 1,76 mg/l en GSP et 23,32 mg/l en PSP. Les plus faibles valeurs moyennes ont été relevées aux stations L1 et L3 en GSP, alors que les plus fortes valeurs moyennes ont été enregistrées à la station L1 (Figure 25D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont influencées par les petites valeurs enregistrées dans les stations L1 en octobre et novembre, L2 en septembre et octobre et enfin L3 en septembre, par contre les fortes valeurs obtenues en PSP sont dues aux valeurs très élevées enregistrées dans les stations L1 et L3 durant le mois de mars (Figure 25 D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,000$ ), la GSS et la GSP ( $p=0,025$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,025$ ), la PSP et GSP ( $p=0,000$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p=0,030$ ). Le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significatives ( $p<0,05$ ) et le test de Mann Whitney ressort des différences entre les mois de juin-juillet ; août-septembre.

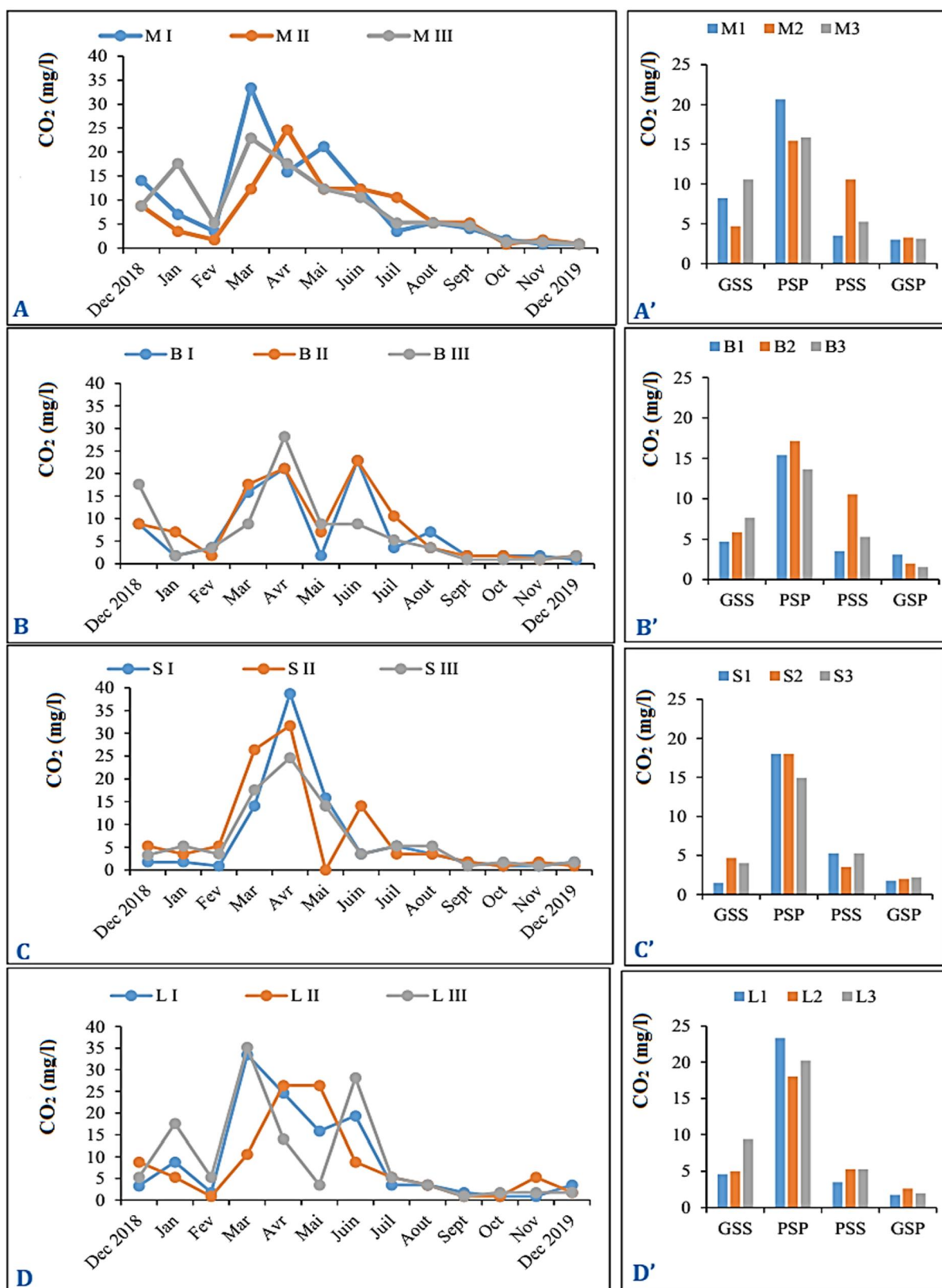


Figure 25 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes du gaz carbonique dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).



### III.1.2.2.9- Oxydabilité

Dans le cours Métyi, les valeurs moyennes de l'oxydabilité oscillent de 0,2 mg/l en PSS à 3,46 mg/l en GSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées aux stations M1 et M2 tandis que la plus forte valeur moyenne a été observée à la station M3 (Figure 26A'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en PSS sont liées aux valeurs du mois de juillet dans les stations M1 et M2, alors que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSS sont dues à la valeur très élevée enregistrée à la station M3 au mois de décembre 2018 (Figure 26A). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p=0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et PSS ( $p=0,011$ ), la GSS et GSP ( $p=0,000$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,009$ ) et enfin entre la PSP et GSP ( $p=0,000$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis relève des différences significative d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney ressort les différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de juin-juillet ; et octobre-novembre.

Dans le cours Bengo, les valeurs moyennes de l'oxydabilité oscille de 0,25 mg/l en GSP à 3,95 mg/l en PSS. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées aux stations B2 et B3 tandis que la plus forte valeur a été observée à la station B1 (Figure 26B'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont dues aux valeurs enregistrées dans les stations B2 et B3 alors que la forte valeur moyenne obtenue en PSS est liée à la valeur du mois de juillet (Figure 26 B). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p= 0,001$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney ressort des différences significatives entre la GSS et la GSP ( $p=0,002$ ), la PSP et la GSP ( $p=0,001$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p=0,017$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis relève des différences significative ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney ressort les différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de décembre 2018- janvier 2019 ; juillet-août.

Dans le cours Sounou, les données moyennes de l'oxydabilité oscillent de 0,2 mg/l en GSP à 2,47 mg/l en PSP. La plus faible valeur moyenne de l'oxydabilité a été observée aux stations S3 tandis que les plus fortes valeurs moyennes ont été observées aux stations S1, S2 et S3 (Figure 26C'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP seraient dues à la valeur enregistrée au mois de septembre à la station S3 tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en PSP sont dues aux valeurs élevées enregistrées aux stations S2 au

mois d'avril, S1 et S3 au mois de juin (Figure 26 C). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p= 0,000$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences entre la GSS et la PSP ( $p=0,035$ ), la GSS et GSP ( $p=0,000$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,009$ ) et enfin entre la PSP et la GSP ( $p=0,000$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis signale des différences significative d'un mois à un autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney ressort les différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de janvier-février, juin-juillet.

Dans le cours d'eau Lo'o, les données moyennes de l'oxydabilité oscillent de 0,1 mg/l en GSP à 1,83 mg/l en PSP. Les plus faibles valeurs moyennes ont été observées aux stations L1, L2 et L3 en GSP tandis que les plus fortes valeurs moyennes ont été observées aux stations L1, L2 et L3 en PSP (Figure 26D'). Les faibles valeurs moyennes obtenues en GSP sont dues aux valeurs 0,0 mg/l enregistrées aux stations L1, L3 en août ; L1 septembre et L2, L3 en octobre, tandis que les fortes valeurs moyennes obtenues en GSP sont influencées par les très fortes valeurs enregistrées aux stations L3 en mars, L1 et L2 en avril (Figure 26D). Le test de Kruskal Wallis montre des différences significatives ( $p= 0,001$ ) d'une saison à une autre. Le test de Mann Whitney relève des différences significatives entre la GSS et la PSP ( $p=0,008$ ), la GSS et la GSP ( $0,000$ ), la PSP et la PSS ( $p=0,018$ ), la PSP et la GSP ( $p=0,000$ ) et enfin entre la PSS et la GSP ( $p=0,025$ ). Sur le plan temporel, le test de Kruskal Wallis annonce des différences significatives d'un mois à l'autre ( $p<0,05$ ) et le test U de Mann Whitney précise des différences significatives ( $p<0,05$ ) entre les mois de juillet- août.

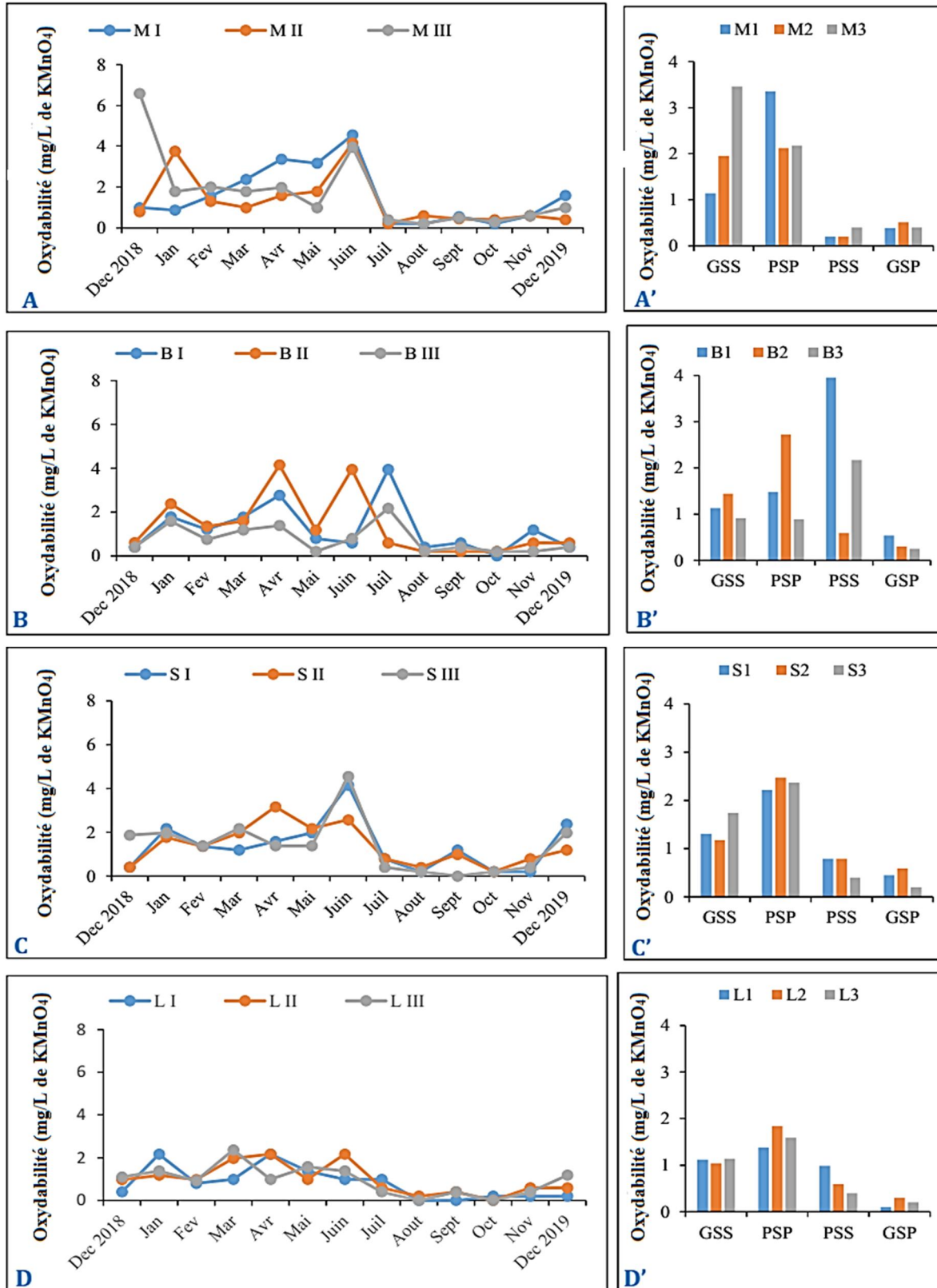


Figure 26 : Variation spatio-temporelle et saisonnière des valeurs moyennes de l'oxydabilité dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (A, A' : Métyi) ; (B, B' : Bengo) ; (C, C' : Sounou) et (D, D' : Lo'o).

### III.1.2.3- Typologie abiotique des cours d'eau

#### III.1.2.3.1- Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des stations

L'ACH réalisée sur la base des variables physicochimiques a défini les 12 stations d'échantillonnage en trois groupes sur la base de leur similarité (Figure 27). Le groupe I est composé par les stations M1, M2, M3, S1, S2 et S3 des cours d'eau Métyi et Sounou respectivement. Ces différentes stations se caractérisent par des valeurs élevées de la couleur, de la turbidité et de l'oxydabilité. Par contre, le groupe II est constitué essentiellement des stations L1, L2 et L3 du cours d'eau Lo'o. Ces trois stations se caractérisent par de fortes valeurs d'ammonium. Enfin, le groupe III, composé des trois stations B1, B2 et B3 du cours d'eau Bengo qui se caractérisent par de fortes valeurs de température, de pH, de conductivité, de TDS, d'alcalinité, mais également d'Oxygène dissous.

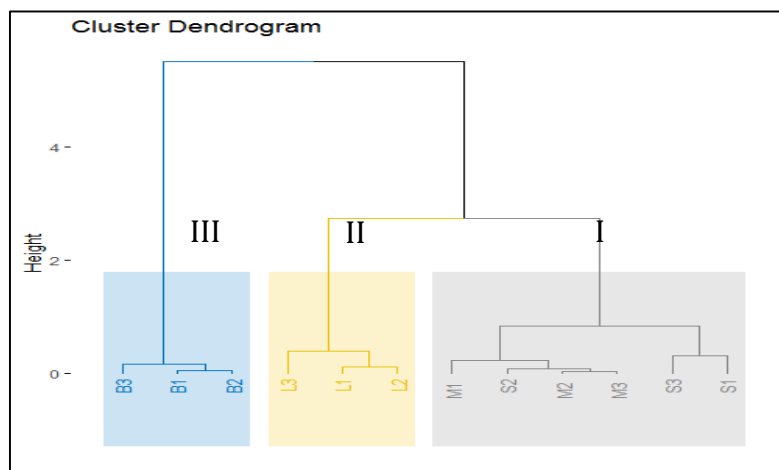


Figure 27 : Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des différentes stations réalisée à partir des variables physicochimiques pendant la période d'étude

#### III.1.2.3.2- Analyse en Composante Principale (ACP)

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée pour déterminer les paramètres physicochimiques qui caractérisent les différentes stations des cours d'eau étudiés. La carte factorielle obtenue présente les deux premières dimensions qui cumulent 62,7% d'informations soit Dim 1(41,6%) et Dim 2 (21,1%) (Figure 28A). L'ACP a permis de regrouper les différentes stations en trois grands groupes (I, II et III) (Figure 28B). Le groupe I situé dans la partie négative de la dimension 1 et en même temps dans les parties négative et positive de la dimension 2, se compose des stations des cours d'eau

Métyi et Sounou (M1, M2, M3, S1, S2 et S3). Le groupe II situé dans les parties négatives et positives de la dimension 1 et la partie négative de la dimension 2, se compose des stations du cours d'eau Lo'o (L1, L2 et L3). Le groupe III lui est situé dans les parties positives des dimensions 1 et 2 et comporte les trois stations du cours d'eau Bengo (B1, B2 et B3).

Sur l'ensemble des 14 variables physicochimiques analysées, 07 variables sont fortement corrélées avec la première dimension. Il s'agit de la conductivité, des TDS, de l'alcalinité, de la couleur, du pH, de l'oxygène dissous et de la température. Alors que la turbidité, l'oxydabilité, et l'ammonium sont corrélés à la dimension 2. Le CO<sub>2</sub> est mieux corrélé à la dimension 3. Les MES et les nitrates sont fortement corrélés à la dimension 4 tandis que les orthophosphates sont mieux corrélés à la dimension 5 (Figure 28C).

Les poids factoriels des paramètres physicochimiques considérés dans les assemblages définis par l'ACP sont représentés dans la Figure 23. Les TDS, la conductivité, l'alcalinité sont positivement et fortement corrélés à la dimension 1, leurs valeurs de corrélation étant respectivement de 0,95 ; 0,95 et 0,93. La température (0,68), le pH (0,78) et l'oxygène (0,76) sont également corrélés positivement à la dimension 1. Alors que la couleur est négativement et fortement corrélée à la dimension 1 avec une valeur de corrélation de -0,84. Sur la dimension 2, la Turbidité (0,70) ainsi que l'oxydabilité (0,65) sont positivement corrélées tandis que l'ammonium (-0,64) est négativement corrélé (Figure 29).

Sur la base des poids factoriels des différents paramètres physicochimiques, nous pouvons dire que le groupe I (M1, M2, M3, S1, et S3) se caractérise par des teneurs élevées de la couleur, de la turbidité et de l'oxydabilité (Figure 28D). Le groupe II (L1, L2 et L3) se caractérise par des eaux ayant des teneurs élevées en ammonium. Enfin le groupe III (B1, B2 et B3) est caractérisé par des teneurs élevées de température, de pH, des TDS, de la conductivité, de l'alcalinité et de l'oxygène dissous (Figure 28D).

En général, l'analyse du biplot (Figure 28D) montre que les orthophosphates, le CO<sub>2</sub> dissous, les MES et les nitrates sont des variables qui ne doivent pas être prises en compte dans la caractérisation des stations d'échantillonnage des différents cours d'eau étudiés.

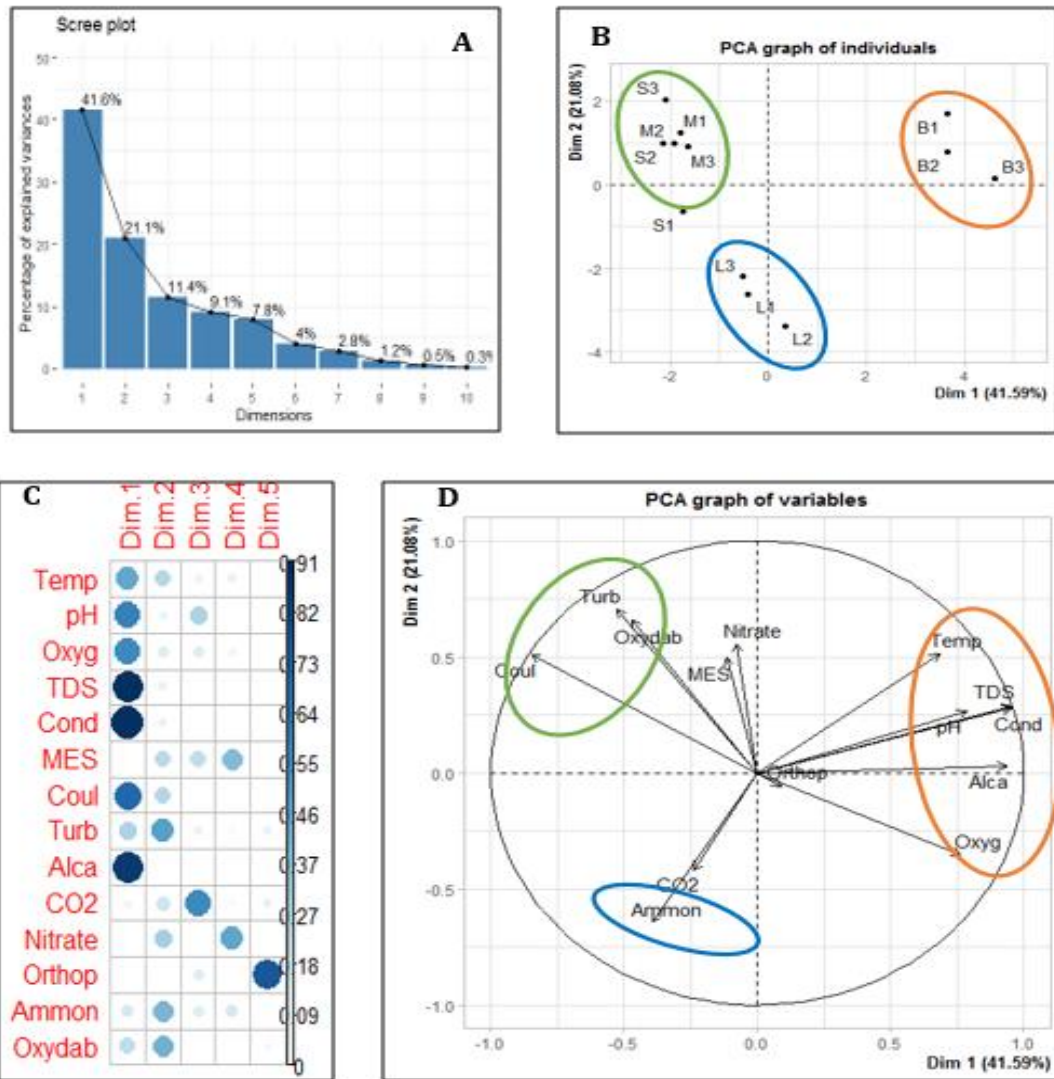


Figure 28 : Analyse en Composante principale des variables physicochimiques pendant la période d'étude. A : Histogramme de valeurs propres, B : Corrélations entre les stations et les axes, C : Corrélation entre les paramètres physicochimiques et les cinq premiers

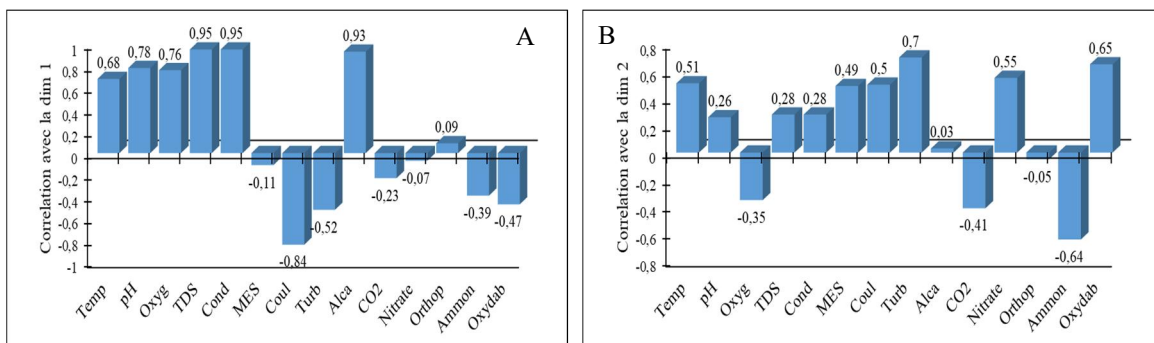


Figure 29 : Coefficient de corrélation des paramètres physicochimiques indiquant le poids des diverses variables initiales suivant les deux premières composantes principales

### III.1.3- Macroinvertébrés benthiques

#### III.1.3.1- Richesse taxonomique et abondance des macroinvertébrés benthiques

Au cours de cette étude, un total de 174 taxons a été identifié dont 167 taxons au rang du genre et/ou espèce et 7 taxons au rang de la famille. Ces taxons ont été répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 5 classes (Crustacés, Insectes, Gastéropodes, Bivalves et Oligochètes), 11 ordres, et 62 familles.

L'embranchement des Arthropodes est le plus représenté avec 2 classes (Crustacés et Insectes), 8 ordres (Décapodes, Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 55 familles et 163 genres et/ou espèces. Il est suivi des Mollusques avec 2 classes (Gastéropodes et Bivalves), 2 ordres (Mésogastéropodes et Eulamellibranches), 5 familles et 5 genres et/ou espèces. Enfin vient l'embranchement des Annélides avec 1 Classe (Oligochète), 1 ordre et 2 familles.

La classe des Insectes est la plus abondante avec 4978 individus soit 63,67 % d'abondance relative. Cette classe est répartie en 7 ordres (Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 52 familles et 159 genres et/ou espèces. Elle est suivie par la classe des Crustacés qui totalise 2603 individus soit 33,29 % d'abondance relative. Cette classe regroupe 1 ordre (Décapodes), 3 familles et 4 genres et/ou espèces. Ensuite, vient la classe des Gastéropodes qui compte 177 individus pour 2,26 % d'abondance relative, avec 1 ordre (Mésogastéropodes), 3 familles et 3 genres et/ou espèces. Enfin, viennent les classes des Bivalves et des Oligochètes qui comptent respectivement 52 individus soit 0,67 % d'abondance relative et 8 individus soit 0,10 % d'abondance relative. Ces deux classes comportent chacune 2 ordres et 2 familles (Figure 30).

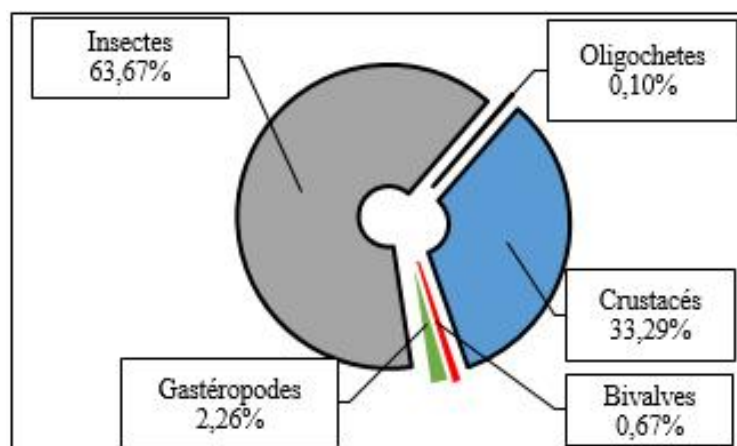


Figure 30 : Abondance relative des classes de MIB récoltées dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude.

Des 11 ordres dénombrés, les Décapodes sont les plus représentés avec 2603 individus soit 33,25 % d'abondance relative, appartenant à 3 familles. Ils sont suivis par l'ordre des Coléoptères qui compte 1850 individus soit 23,63 % d'abondance relative regroupés en 14 familles. Ensuite, l'ordre des Hétéroptères avec 1580 individus soit 20,18 % d'abondance relative répartis dans 8 familles. L'ordre des Odonates compte 602 individus soit 7,69 % d'abondance relative et 5 familles. L'ordre des Ephéméroptères comprend 573 individus soit 7,32 % d'abondance relative et 6 familles. Les ordres des Trichoptères des Mésogastéropodes et des Plécoptères comptent respectivement 194, 177 et 106 individus soit 2,48 % d'abondance relative, 2,26 % d'abondance relative et 1,35 % d'abondance relative avec respectivement 7 familles, 3 familles et 1 famille. Les autres ordres (Diptères, Eulamellibranches et Oligochètes) comptent 143 individus soit environ 1,82 % d'abondance relative (Figure 31).

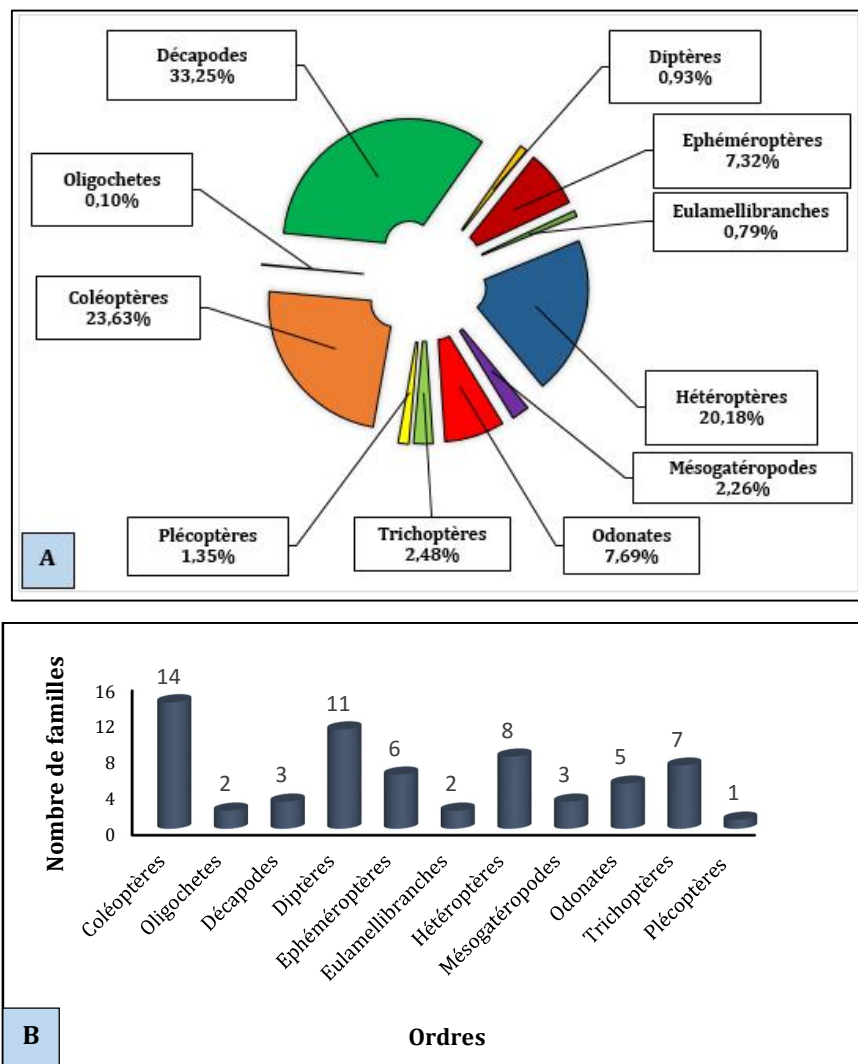


Figure 31 : Abondance relative des ordres (A) et abondance totale des familles (B) de MIB dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude



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

Durant cette étude, la Grande Saison Sèche (GSS) présente la plus grande abondance des MIB avec 3404 individus soit 43,48% d'abondance relative. Le mois de février avec 1358 individus soit 17,35% d'abondance relative est le plus abondant de cette saison, suivi du mois de janvier avec 853 individus soit 10,90% d'abondance relative. Ensuite, vient la petite saison de pluie (PSP) avec 1839 macroinvertébrés benthiques soit 23,49% d'abondance relative. Les mois de juin et mai avec respectivement 583 individus soit 7,45% d'abondance relative et 557 individus soit 7,12% d'abondance relative sont les plus abondants de cette saison. Ensuite, la Grande Saison de Pluie (GSP) avec 1696 macroinvertébrés benthiques soit 21,67% d'abondance relative. Au cours de cette saison, le mois d'août qui dénombre 571 individus soit 7,29 % d'abondance relative est le plus représentatif suivi des mois d'octobre et novembre avec respectivement 459 individus soit 5,86% d'abondance relative et 409 individus soit 5,22% d'abondance relative. Enfin, vient la petite saison sèche (PSS) qui compte 889 individus soit 11,36% d'abondance relative et juillet étant le seul moi représentatif avec 889 individus soit 11,36% d'abondance relative (Figure 32A).

Durant la GSS, on a observé la prédominance des Décapodes avec 1128 individus soit 33,1% d'abondance relative, suivi des Coléoptères avec 824 individus soit 24,2% d'abondance relative et des Hétéroptères avec 807 individus soit 23,7% d'abondance relative. Viennent ensuite les Odonates avec 215 individus soit 6,3% d'abondance relative. Les Ephéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères comptent respectivement 103 individus (3,0% d'abondance relative), 36 individus (1,1% d'abondance relative) et 109 individus (3,2% d'abondance relative) (Figure 32B).

Pendant la PSP, les Décapodes ont dominé le peuplement de macroinvertébrés avec 595 individus (32,4%), suivi des Coléoptères avec 423 individus (23,0% d'abondance relative) et des Hétéroptères avec 361 individus soit 19,6% d'abondance relative. Les Ephéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères comptent respectivement 169 individus (9,2% d'abondance relative), 40 individus (2,2% d'abondance relative) et 36 individus (2,0% d'abondance relative) (Figure 32B).

Au cours de la PSS, on enregistre une fois de plus la prédominance des Décapodes et des Coléoptères avec respectivement 328 individus (36,9% d'abondance relative) et 305 individus (34,3% d'abondance relative). Suivent les Hétéroptères et les Odonates avec

respectivement 131 individus (14,7% d'abondance relative) et 78 individus (8,8% d'abondance relative). Les Ephéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères comptent respectivement 8 individus (0,9% d'abondance relative), 16 individus (1,8% d'abondance relative) et 3 individus (0,3% d'abondance relative) (Figure 32B).

La GSP quant à elle se caractérise comme les autres saisons, par la prédominance des Décapodes et des Coléoptères qui ont respectivement 552 individus soit 32,5% d'abondance relative et 298 individus soit 17,6% d'abondance relative. Les Hétéroptères dénombrent 281 individus soit 16,6% d'abondance relative, alors que les Odonates comptent 169 individus soit 10,0% d'abondance relative. Les Ephéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères comptent respectivement 293 individus (17,3% d'abondance relative), 14 individus (0,8% d'abondance relative) et 46 individus (2,7% d'abondance relative) (Figure 32B).

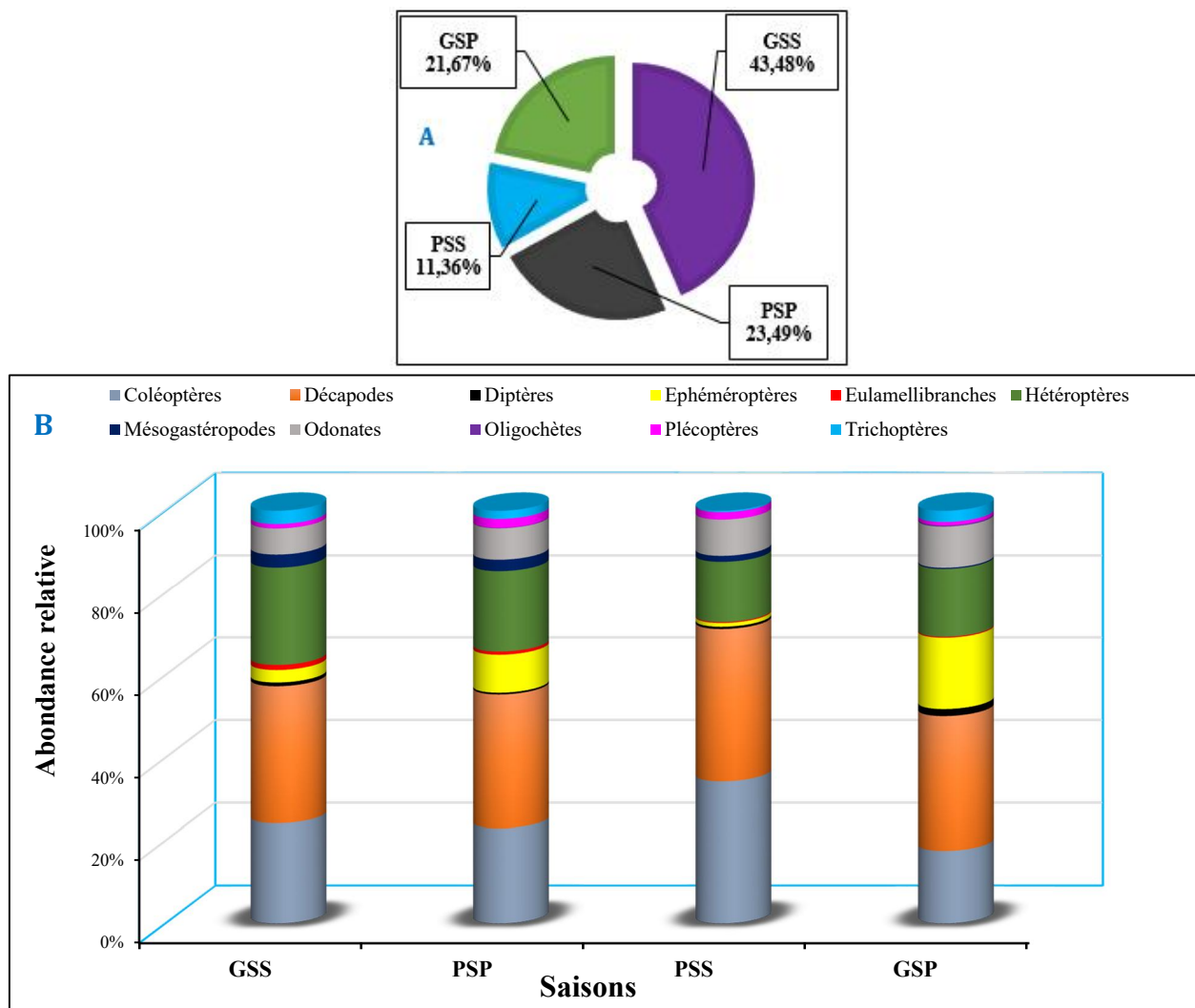


Figure 32 : Abondance relative globale des MIB (A) et abondance relative des ordres de MIB (B) récoltés à chaque saison dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude

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

Des 7828 macroinvertébrés benthiques récoltés tout au long de cette étude, 1313 individus ont été enregistrés dans le cours d'eau Métyi, soit 16,77% d'abondance relative, 1657 macroinvertébrés ont été collectés dans le cours d'eau Bengo soit 21, 17% d'abondance relative. 3185 MIB ont été collectés dans le cours d'eau Sounou avec 40,69% d'abondance relative et 1673 dans le cours d'eau Lo'o soit 21,37% d'abondance relative (Figure 33A).

Pour ce qui est des ordres de MIB, dans le cours d'eau Métyi, on note la prédominance des Coléoptères avec 618 individus soit 47,06% d'abondance relative, suivis des Hétéroptères avec 395 individus soit 30,08% d'abondance relative, des Odonates avec 123 individus soit 9,36% d'abondance relative. Ensuite les Trichoptères avec 76 individus soit 5,78% d'abondance relative, les Ephéméroptères avec 41 individus soit 3,12% d'abondance relative, les Décapodes avec 36 individus soit 2,74% d'abondance relative. Les autres ordres (Diptères, Eulamellibranches et Mésogastéropodes) totalisent 24 individus soit moins de 2% d'abondance relative (Figure 33B).

Dans le cours d'eau Bengo, les Coléoptères avec 543 individus (32,80% d'abondance relative) constituent le groupe prédominant. Suivis des Hétéroptères avec 404 individus soit 24,41% d'abondance relative, les Décapodes avec 244 individus (14,74% d'abondance relative), les Mésogastéropodes avec 176 individus (10,63% d'abondance relative), les Plécoptères avec 103 individus (6,22% d'abondance relative) et les Ephéméroptères avec 54 individus (3,26% d'abondance relative). Les autres groupes (Eulamellibranches, Diptères et Trichoptères) rassemblent 31 individus soit moins de 2% d'abondance relative (Figure 33B).

Dans le cours d'eau Sounou, on a observé une nette domination des Décapodes avec 1811 individus soit 56,86% d'abondance relative, suivis de très loin par Hétéroptères avec 407 individus soit 12,77 % d'abondance relative. Viennent ensuite les Coléoptères avec 328 individus (10, 29% d'abondance relative), les Ephéméroptères avec 299 individus (9,38% d'abondance relative), les Odonates avec 219 individus (6,87% d'abondance relative) et les Trichoptères avec 70 individus (2,19% d'abondance relative).

Les autres ordres (Diptères, Eulamellibranches et Oligochètes) regroupent 51 individus au total soit un peu moins de 2% d'abondance relative (Figure 33B).

Dans le cours d'eau Lo'o, les décapodes sont les plus dominants avec 512 individus soit 30,60% d'abondance relative, suivis des Hétéroptères et des Coléoptères avec respectivement 374 individus (22,35% d'abondance relative) et 361 individus (21,57% d'abondance relative). Ensuite viennent les Ephéméroptères avec 179 individus (10,69% d'abondance relative), les Odonates avec 160 individus (9,56% d'abondance relative) et les Trichoptères avec 44 individus (2,63% d'abondance relative). Les ordres des Diptères, Eulamellibranches, Plécoptères et Oligochètes rassemblent 43 individus au total soit un peu plus de 2% d'abondance relative (Figure 33B).

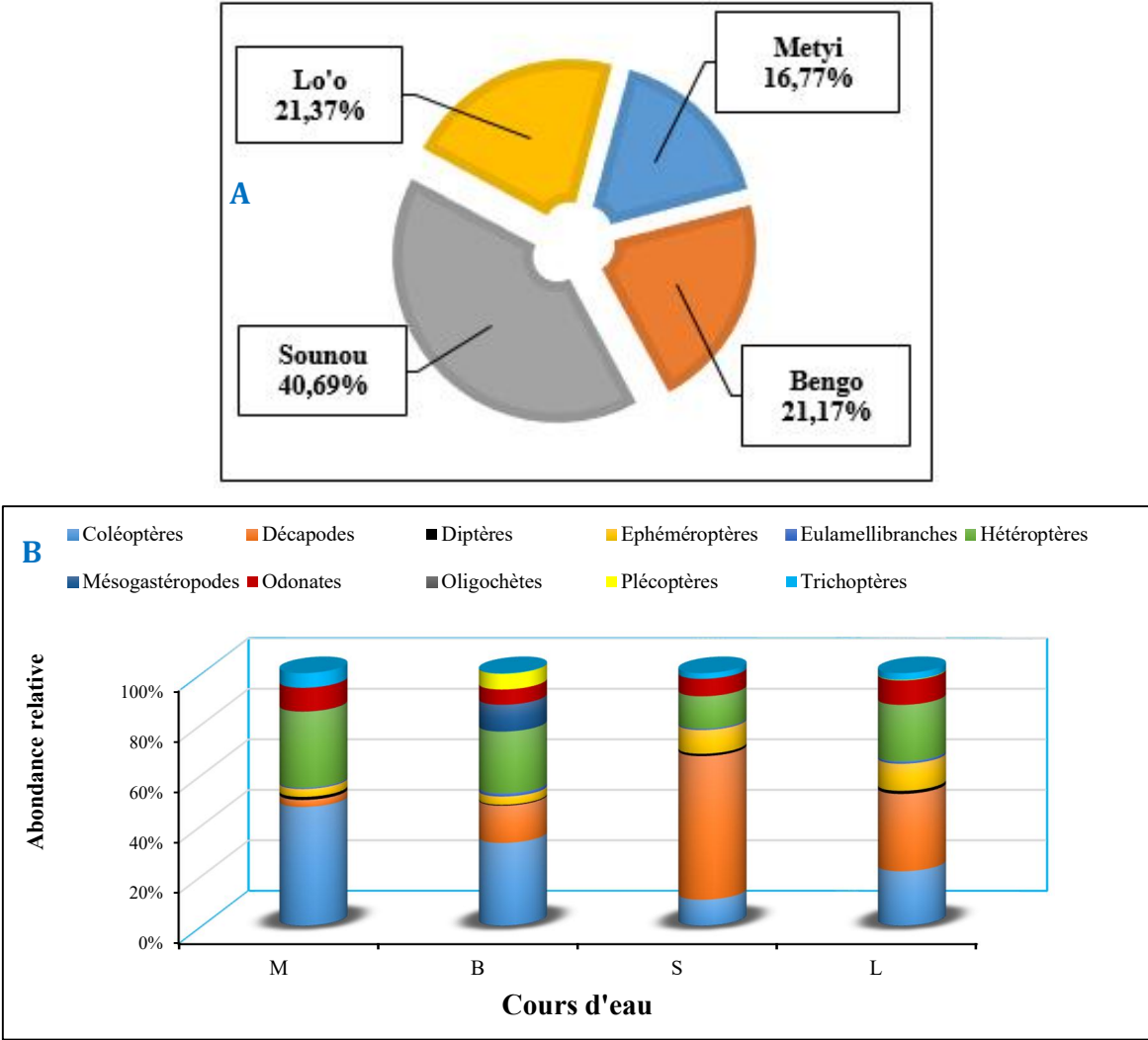


Figure 33 : Abondance relative des MIB (A) et des ordres de MIB (B) dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.

### **III.1.3.4- Richesse taxonomique des MIB dans les différents cours d'eau**

#### **III.1.3.4.1- Cours d'eau Métyi**

Dans le cours Métyi, un total de 74 taxons ont été identifiés soit 72 taxons au rang du genre et / ou espèce et 2 taxons au rang de la famille (Tableau IX). Les taxons identifiés dans ce cours d'eau appartiennent à 2 embranchements (Arthropodes, Mollusques), 4 classes (Crustacés, Insectes, Gastéropodes et Bivalves), 9 ordres, et 35 familles. L'embranchement des Arthropodes étant le plus représenté avec 2 classes (Crustacés et Décapodes), 7 ordres (Décapodes, Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 33 familles et 72 genres et/ou espèces. L'embranchement des Mollusques compte 2 classes (Gastéropodes et Bivalves), 2 ordres (Mésogastéropodes et Eulamellibranches), 2 familles et 2 genres.

La classe des insectes est la plus abondante et la plus diversifiée. Elle compte 1269 individus soit 96,65 % d'abondance relative et compte 6 ordres ((Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 30 familles et 69 genres et/ou espèces. Elle est suivie par classe des Décapodes qui compte 36 individus soit 2,74 % d'abondance relative reparti en 1 ordre (Décapodes), 3 familles et 3 genres et/ou espèces. Les classes de Bivalves et des Gastéropodes enregistrent 7 individus et 1 individu soit respectivement 0,53 % et 0,08 % d'abondance relative. Ces deux classes comportent 1 ordre chacune, 1 famille et 1 genre et/ou espèce.

L'ordre des Coléoptères est le plus représenté dans ce cours d'eau avec 618 individus soit 47,06 % d'abondance relative, repartis en 7 familles et 20 genres et/ou espèces. Il est suivi de l'ordre Hétéroptères qui totalise 395 individus soit 30,08 % du peuplement total appartenant à 8 familles et 19 genres et/ou espèces. Ensuite l'ordre des Odonates qui dénombre 123 individus donc 9,37 % d'abondance relative groupés en 3 familles et 16 genres et/ou espèces. Les ordres des Trichoptères, Ephéméroptères et Décapodes occupent le 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> rang avec respectivement 76 individus, 41 individus et 36 individus. Les Diptères, les Eulamellibranches et les Mésogastéropodes représentent les ordres les moins représentés avec un effectif cumulé de 24 individus soit 1,83 % du peuplement global de ce cours d'eau (Figures 34 et 35A).

La richesse taxonomique sur le plan temporel montre que le mois de janvier est le plus diversifié avec 21 familles, suivi du mois de novembre qui compte 20 familles. Ensuite viennent les mois de février, mai et juin qui dénombrent 18 familles, 17 familles et 16 familles respectivement. Les mois de décembre-18 et décembre-19 comptent 15 familles chacun, alors que les mois d'avril et juillet totalisent 13 familles chacun. Le mois d'août regroupe 12 familles et enfin le mois d'octobre qui ne compte que 9 familles est le moins diversifié (Figure 35 B).

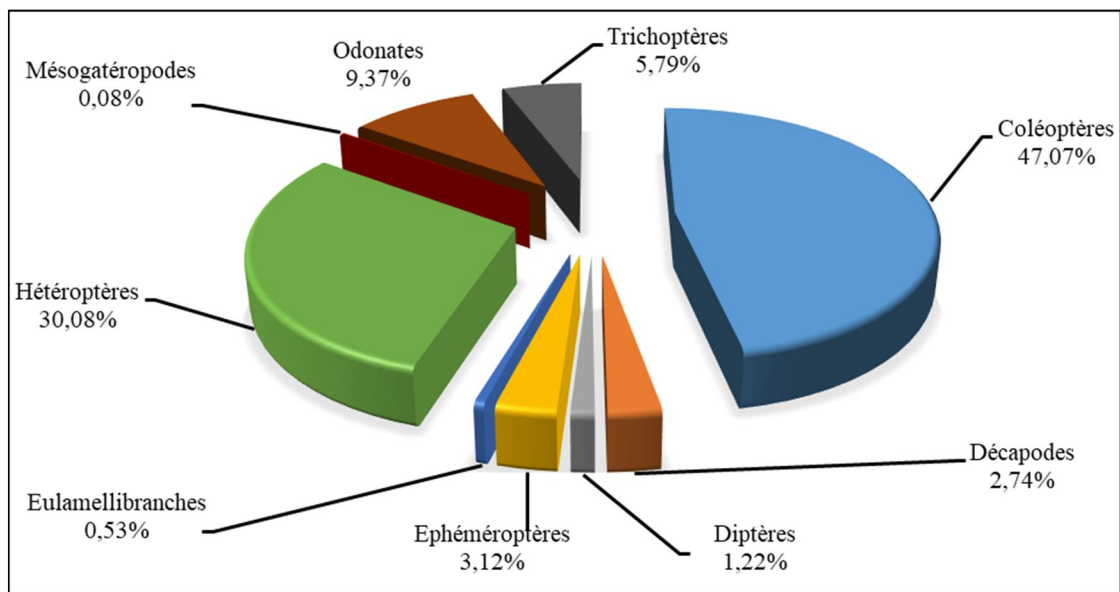


Figure 34 : Abondance des ordres de MIB réclotés dans le cours d'eau Métyi pendant la période d'étude

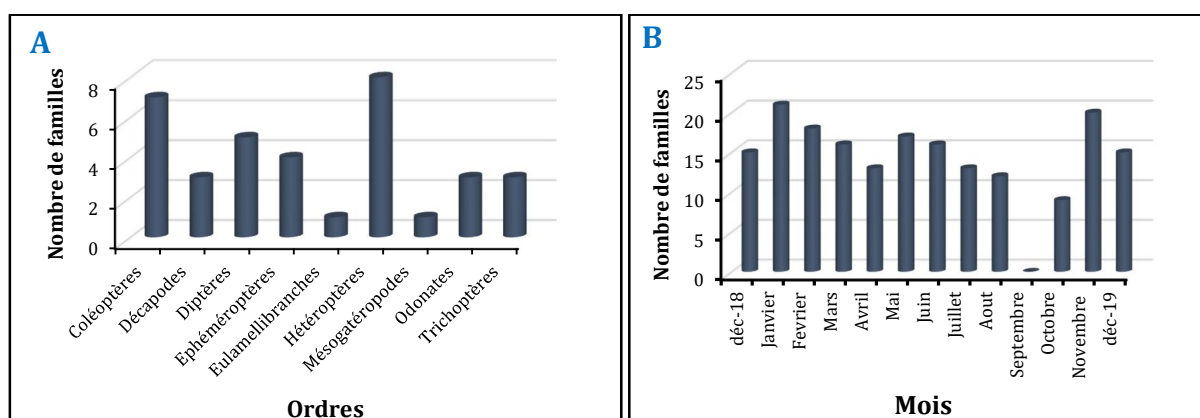


Figure 35 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB réclotés dans le cours d'eau Métyi pendant la période d'étude.

Tableau VII : Richesse taxonomique des MIB dans le cours d'eau Metyi

Classes	Ordres	Familles	Genres / espèces	Mois												Total			
				déc-18	Jan	Fev	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	A	Sept	Oct	Nov		déc-19		
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i> sp	1	1	1	1	1		1	3				1		<b>10</b>		
		Atyidae	<i>Caridina africana</i>	3	3	5	4	3	4	2					1		<b>25</b>		
		Potamidae	<i>Sudanaute africanus</i>				1										<b>1</b>		
Insecta	Heteroptera	Nepidae	<i>Ranatra linearis</i>	2	7	9	5			5	4	2			1	3	<b>38</b>		
			<i>Laccotrephes</i> sp	2													<b>2</b>		
		Belostomatidae	<i>Poissonia longifemorata</i>	10	12	7	10	14	3	9	6	3				14	5	<b>93</b>	
			<i>Lethocersus</i> sp												1			<b>1</b>	
		Hydrometridae	<i>Hydrometra carayoni</i>		4		1	1	3									<b>9</b>	
		Gerridae	<i>Rhagadotarsus hutchinsoni</i>		4													<b>4</b>	
			<i>Gerris</i> sp	12	2	1			1	3								<b>19</b>	
			<i>Limnogonus</i> sp														6	<b>6</b>	
			<i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>	1	48	31	4		7			5						<b>96</b>	
			<i>Tenagogonus albovittatus</i>				1						1			3		<b>5</b>	
		Veliidae	<i>Gerrisella settembrinoi</i>			1			5	3								<b>9</b>	
			<i>Velia</i> sp		1	5	1											<b>7</b>	
			<i>Rhagovelia</i> sp	1			12	1		5	3	1				1	2	<b>26</b>	
			<i>Mesovelia furcata</i>					3	2									<b>5</b>	
		Naucoridae	<i>Microvelia</i> sp			2	1					1						<b>4</b>	
			<i>Naucoris</i> sp	2	1		1	2	3	5	4				5	2	2	<b>27</b>	
		Pleidae	<i>Aphelecheirus</i> sp										1					<b>1</b>	
			<i>Notonecta</i> sp	6	6		10		8		4	4				1		<b>39</b>	
	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Plea</i> sp				3										<b>3</b>		
			<i>Derallus</i> sp		2	2	1	6	4	8	5			10	8	2	<b>48</b>		
			<i>Enochrus</i> sp											1	1		<b>2</b>		
			<i>Diboloceru</i> sp									3					<b>3</b>		
		Dytiscidae	<i>Hydrochara</i> sp													1		<b>1</b>	
			Gyrinidae	<i>Orectogyrus</i> sp		72	49	25	53	15	14	166	1			13	1	<b>409</b>	
			Dytiscidae	<i>Acilus</i> sp		1													<b>1</b>
				<i>Cybester</i> sp		1													<b>1</b>
				<i>Laccophilus</i> sp			9	20		8		8	8		4	19	8	<b>84</b>	
				<i>Hydrovatus senegalensis</i>	5													<b>5</b>	
				<i>eretes</i> sp					1									<b>1</b>	
				<i>Ilybius</i> sp						6								<b>6</b>	
				<i>Hydrotrupes</i> sp						1								<b>1</b>	
				<i>Celina</i> sp							2							<b>2</b>	
			<i>Desmopachria</i> sp							2		5		4	6	3	<b>20</b>		
			<i>Hyphydrus</i> sp									1					<b>1</b>		
			Elmidae	<i>Limnius</i> sp	3													<b>3</b>	
				<i>Optioservus</i> sp												1		<b>1</b>	
	Noteridae	<i>Hydrocanthus</i> sp				2		2	4		1		16	1		<b>26</b>			
	Haliplidae	<i>Haliphus</i> sp							1						1	<b>2</b>			
Scirtidae	<i>Prionocyphon</i> sp									1					<b>1</b>				
Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Heptagenia sulphurea</i>		2												<b>2</b>			
		<i>Heptagenia</i> sp			1											<b>1</b>			
	Baetidae	<i>Cloeon</i> sp		1	10				1					4		<b>16</b>			

		Ephemereidae	<i>Ephemerella sensu</i>		3	5									13	<b>21</b>	
		Leptophlebiidae	<i>Thraulius bellus</i>												1	<b>1</b>	
	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> sp	1	34	15		1		3	1				19	<b>74</b>	
		Phryganeidae	<i>Phryganea</i> sp												1	<b>1</b>	
		Hebridae	<i>Lipogomphus</i> sp												1	<b>1</b>	
	Odonata	Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>			1				1	1					<b>3</b>	
			<i>Lestinogomphus angustus</i>	1	7			1	2					1	2		<b>14</b>
		Libellulidae	<i>Somatochlora metallica</i>	9	3									9	7	20	<b>48</b>
			<i>Orthetrum caerulescens</i>		1						1						<b>2</b>
			<i>Orthetrum albistylum</i>	1													<b>1</b>
			<i>Orthetrum cancellatum</i>						1								<b>1</b>
			<i>Libellula quadrimaculata</i>		1												<b>1</b>
			<i>Libellula fulva</i>		2												<b>2</b>
			<i>Leucorrhinia albifrons</i>				1										<b>1</b>
			<i>Brachythemis leucosticta</i>		1	4					5						<b>10</b>
			<i>Sympetrum meridionale</i>	2	1	2	2										<b>7</b>
			<i>Sympetrum flaveolum</i>	2								4					<b>6</b>
			<i>Sympetrum depressiusculum</i>									2	1				<b>3</b>
			<i>Crocothemis erythraca</i>						6								<b>6</b>
			<i>Cordulia aenea</i>					1							1		<b>2</b>
	Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp	2	1	3			3					7		<b>16</b>		
	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp	4									5	2	<b>11</b>		
		Limoniidae	<i>Scleroprocta</i> sp		2										<b>2</b>		
		Ptychopteridae	<i>Ptychoptera</i> sp			1									<b>1</b>		
		Chaoboridae	<i>Chaoborus</i> sp							1					<b>1</b>		
	Mesogasteropoda	//	<i>Biomphalaria</i> sp					1							<b>1</b>		
Bivalava	Eulamelli	Unionidae	<i>caelatura aegyptica</i>	2	1	1		2					1		<b>7</b>		

### III.1.3.4.2- Cours d'eau Bengo

Dans le cours d'eau Bengo, 93 taxons de MIB ont été identifiés donc 90 taxons au rang du genre et/ou espèce et 3 taxons au rang de la famille (Tableau X). Ces taxons représentent 2 embranchements (Arthropodes, Mollusques), 4 classes (Crustacés, Insectes, Gastéropodes et Bivalves), 10 ordres, et 41 familles. L'embranchement des Arthropodes étant le plus représenté avec 2 classes (Crustacés et Décapodes), 8 ordres (Décapodes, Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 37 familles et 87 genres et/ou espèces. L'embranchement des Mollusques compte 2 classes (Gastéropodes et Bivalves), 2 ordres (Mésogastéropodes et Eulamellibranches), 4 familles et 4 genres et/ou espèces.

La classe des insectes est la plus abondante et la plus diversifiée. Elle dénombre 1214 individus soit 74,98 % d'abondance relative et compte 7 ordres (Hétéroptères,



Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 34 familles et 84 genres et/ou espèces. Elle est suivie par classe des Décapodes qui compte 244 individus soit 14,74 % d'abondance relative reparti en 1 ordre (Décapodes), 3 familles et 3 genres et/ou espèces. Les classes des Gastéropodes et des Bivalves enregistrent 176 individus et 21 individu soit respectivement 10,63 % et 1,27 % d'abondance relative. Les Gastéropodes rassemblent 1 ordre, 3 familles et 3 genres et/ou espèces. Tandis que les Bivalves sont groupés dans 1 ordre, 1 famille et 1 et une espèce.

L'ordre des Coléoptères qui dénombre 543 individus (31,81 % d'abondance relative) est le plus abondant et compte 10 familles et 24 genres et/ou espèces. Il est suivi de l'ordre des Hétéroptères qui totalise 404 individus (24,41 % d'abondance relative) repartis en 7 familles et 16 genres et/ou espèces. Ensuite l'ordre des Décapodes avec 244 individus (14,74 % d'abondance relative), repartis en 3 familles et 3 genres et/ou espèces. L'ordre des Mésogastéropodes dénombre 176 individus (10,63 % d'abondance relative) repartis en 3 familles et 3 genres et/ou espèces. L'ordre des Plécoptères totalise 103 individus (6,22 % d'abondance relative) regroupés en 1 famille et 6 genres. L'ordre des Odonates qui totalise 100 individus (6,04 % d'abondance relative) compte 5 familles et 21 genres et/ou espèces. L'ordre des Ephéméroptères avec ses 54 individus (3,26 % d'abondance relative) dénombre 6 familles et 11 genres et/ou espèces. L'ordre des Eulamellibranches compte 21 individus (1,27 % d'abondance relative) repartis en 1 famille et 1 espèce. Enfin viennent les ordres des Diptères et Trichoptères qui dénombrent respectivement 6 individus (0,36 % d'abondance relative) répartis en 3 familles et 4 genres et/ou espèces ; 0,24 % d'abondance relative) répartis en 2 familles et 2 genres (Figures 36 et 37A).

La richesse taxonomique dans le cours d'eau Bengo sur le plan temporel montre que le mois de février est le plus diversifié avec 23 familles, suivi des mois de janvier, Août qui comptent 22 familles chacun. Ensuite vient le mois de décembre-18 qui dénombre 21. Les mois de mars et décembre-19 dénombrent 17 familles, suivies de près par les mois de mai et juillet qui comptent 16 familles. Le mois de juin totalise 13 familles suivi des mois de septembre et d'octobre qui enregistrent 12 familles. Et enfin vient le mois d'avril avec ses 9 familles (Figure 37B).

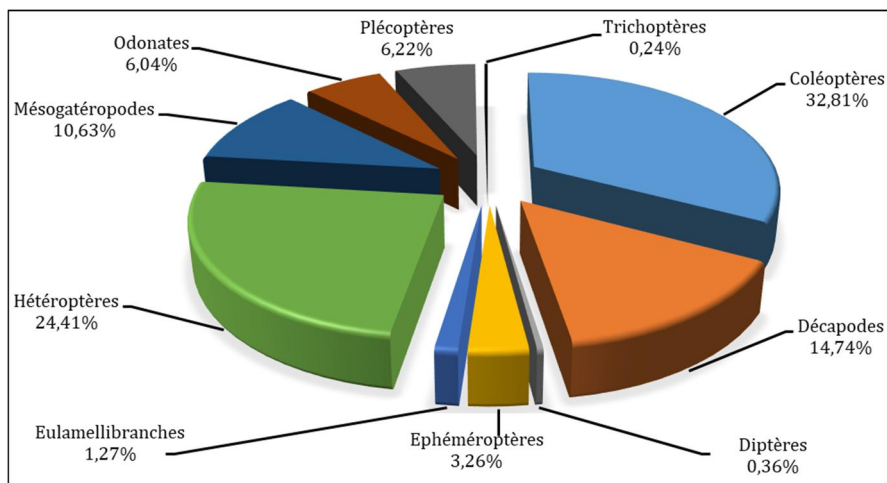


Figure 36 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Bengo pendant la période d'étude.

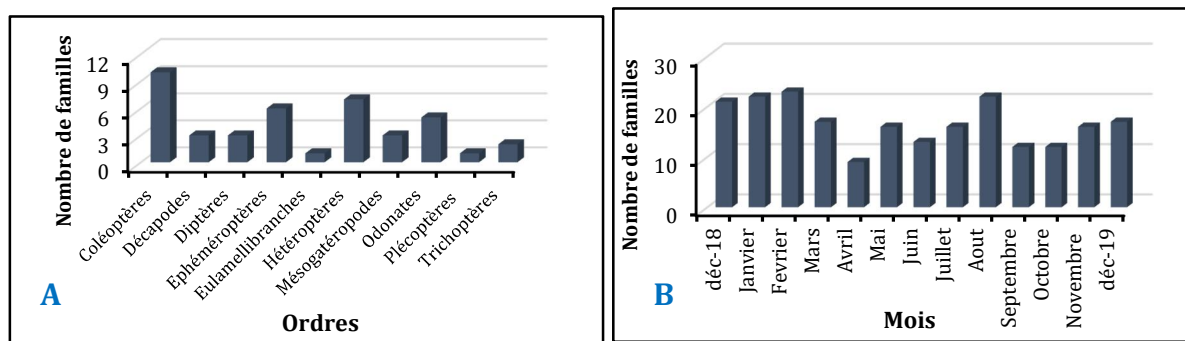


Figure 37 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Bengo pendant la période d'étude.

Tableau VIII : Richesse taxonomique des MIB récoltes dans le cours d'eau Bengo

Classes	Ordres	Familles	Genres / espèces	Mois												Total			
				déc-	Jan	Fév	Mars	A	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov		déc-		
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	9	9	10	2		2	5	24	2		1	8	9	81		
		Atyidae	<i>Caridina africana</i>	23	32	14	4	1	11	5	12	4	1	1	3	30	141		
		Potamidae	<i>Sudanonaute aubryi</i>	3	1	3			1	4	3			3	1	3	22		
Insecta	Heteroptera	Nepidae	<i>Ranatra linearis</i>	1	7	3	1	1	1			2		2	3	6	27		
		Belostomatidae	<i>Poissonia longifemorata</i>	19	23	5	1	10	6	1	2	2	3	2	21	10	105		
		Hydrometridae	<i>Hydrometra carayoni</i>		4	3						1				8	16		
		Gerridae	<i>Gerris sp</i>	1					1	1								3	
			<i>Trepobates sp</i>										9				1	10	
			<i>Limnogonus sp</i>														1	1	
			<i>Cylindrostethus</i>	2	1	5						1						9	
			<i>Hynessionella omer-cooperi</i>	1	8		5					6						20	
			<i>Tenagogonus albovittatus</i>	1													1	1	3
			<i>Gerrisella settembrinoi</i>	1														1	
		Veliidae	<i>Halobates micans</i>			18							3					21	
<i>Rhagovelia sp</i>	19		19	51	3		4	4	36	4	1		2			143			
<i>Mesovelia furcata</i>					2					1	1		1			5			

		<i>Microvelia</i> sp	1		4			1			3	1				10	
	Naucoridae	<i>Naucoris</i> sp	2	5	2											9	
	Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp	1	1	5	1				1	1		1	5	2	18	
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Derallus</i> sp		9	1											10	
		<i>Neohydrophilus</i>					1									1	
		<i>Enochrus</i> sp					2										2
		<i>Regimbartia</i> sp	1														1
	Gyrinidae	<i>Orectogyrus</i> sp	33	57	186	11	1	9	49	16	25		2	19	3	411	
		<i>Aulonogyrus</i> sp			1												1
	Dytiscidae	<i>Cybester</i> sp											1				1
		<i>Laccophilus</i> sp		3							3				1		7
		<i>Copelatus erichsoni</i>					1										1
		<i>Hydrovatus senegalensis</i>	1		6												7
		<i>Neptosternus tricuspis</i>	8			4		14	5	31							62
		<i>Yola enigmatica</i>					3										3
		<i>Heterhydrus senegalensis</i>	1														1
		<i>Dytiscicus</i> sp									1						1
	Chrysomelidae	<i>Macrolea</i> sp		1													1
	Hydraenidae	<i>Hydraenopsis ripae</i>					1										1
	Elmidae	<i>Limnius</i> sp	1	1													2
		<i>Pseudoncyronyx</i> sp			1						7						8
		<i>Normandia</i> sp					8										8
	Noteridae	<i>Noterus</i> sp		1												1	
	Sperchelodae	<i>Spercheus</i> sp								2						2	
	Dryopidae	<i>Pelonomus</i> sp						6									6
		<i>Dryops</i> sp						1									1
Scirtidae	<i>Elodes</i> sp									4						4	
Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Heptagenia sulphurea</i>		13												13	
		<i>Heptagenia</i> sp	1		2	4			1							8	
		<i>Afronurus</i> sp						7									7
		<i>Notonurus</i> sp								2							2
	Baetidae	<i>Cloeon</i> sp									3						3
		<i>Baetis</i> sp			3												3
		<i>Procleon</i> sp				4											4
	Caenidae	<i>Caenis</i> sp									2					2	
	Ephemerellidae	<i>Ephemerella sensu</i>			1					1	1	1	1	1	1	6	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulius bellus</i>		1		1		2				1				5	
Siphonuridae	<i>Siphonuris</i> sp								1						1		
Plecoptera	Neoperlidae	<i>Neoperla</i> spp	23	8		7		21	11	16	2	2	6	2	5	103	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> sp	2												1	3	
	Ecnomidae	<i>Ecnomus</i> sp				1										1	
Odonata	Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>							2							2	
		<i>Lestinogomphus angustus</i>	3		1			5		4			1	2		16	
		<i>Ictinogomphus ferox</i>						1						1		2	
	Libellulidae	<i>Somatochlora metallica</i>			1										1	2	
		<i>Orthetrum brunneum</i>		2												2	
		<i>Orthetrum caeruleum</i>													1	1	
	<i>Libellula quadrimaculata</i>												1	1	2		
	<i>Libellula fulva</i>											2	1	3	3		

			<i>Libellula depressa</i>	5												5	
			<i>Leucorrhinia caudalis</i>				1									1	
			<i>Epiheca bimaculata</i>											8		8	
			<i>Sympetrum meridionale</i>	2		4										6	
			<i>Sympetrum flaveolum</i>	1					1				1			3	
			<i>Sympetrum vulgatum</i>						2		2					4	
			<i>Sympetrum depressiusculum</i>	4					2	1			1		1	9	
			<i>Macromia splendens</i>	1						1						2	
			<i>Cordulia aenea</i>											1		1	
		Calopterygidae	<i>Calopteryx splendens</i>							1						1	
			<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>		3					1							4
		Aeshnidae	<i>Brachytron pratense</i>					1								1	
		Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp	2		2	1				1	1	8	3	6	24	
	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp	1												1	
		Ceratopogonidae	<i>Dasyheleina</i> sp									3					3
			<i>Leptoconops</i> sp										1				
		Limoniidae	<i>Hexatomi</i> sp									1					1
Gastero	Mesogastero	Thiaridae	<i>Melania tuberculata</i>	19	39	10	14		10	26	13	1			2	40	174
		//	<i>Biomphalaria</i> sp										1				
Bivalava	Eulamelli	Unionidae	<i>caelatura aegyptica</i>			21											21

### III.1.3.4.3- Cours d'eau Sounou

Dans le cours d'eau Sounou, un total de 97 taxons de MIB ont été identifiés donc 94 taxons au rang du genre et/ou espèce, 2 taxons au rang de la famille et 1 taxon au rang de l'ordre (Tableau XI). Les différents taxons sont regroupés en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 4 classes (Crustacés, Insectes, Bivalves et Oligochètes), 9 ordres, et 42 familles. L'embranchement des Arthropodes étant le plus représenté avec 2 classes (Crustacés et Décapodes), 7 ordres (Décapodes, Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 40 familles et 92 genres et/ou espèces. L'embranchement des Mollusques compte 1 classe (Bivalves), 1 ordre (Eulamellibranches), 1 famille 1 espèce. Tout comme l'embranchement des Annélides.

La classe des Crustacés la plus représentée dans le cours d'eau Sounou dénombre 1811 individus soit 56,86 % d'abondance relative et compte 1 ordre (Décapodes) 3 familles et 4 genres et/ou espèces. Elle est suivie par la classe des Insectes qui compte 1353 individus soit 42,48 % d'abondance relative réparti 6 ordres (Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 37 familles et 89 genres et/ou

espèces. La classe des Bivalves enregistre 18 individus soit 0,57 % d'abondance relative repartis en 1 ordre (Eulamellibranche), 1 famille et 1 espèce. Enfin la classe des Oligochètes qui totalise seulement 3 individus soit 0,09 % d'abondance relative regroupés dans 1 ordre et 1 famille.

L'ordre des Décapodes est le plus représenté dans ce peuplement de MIB avec 1811 individus soit 56,86 % d'abondance relative et compte 3 familles et 4 genres et/ou espèces. Il est suivi de l'ordre des Hétéroptères qui totalisent 407 individus soit 12,78 % d'abondance relative, répartis en 7 familles et 13 genres et/ou espèces. Ensuite vient l'ordre des Coléoptères avec 328 individus soit 10,30 % d'abondance relative, regroupés en 9 familles et 27 genres et/ou espèces. L'ordre des Ephéméroptères suit avec 299 individus soit 9,39 % d'abondance relative, groupés en 3 familles et 8 genres et/ou espèces. Ensuite l'ordre des odonates totalise 219 individus soit 6,88 % d'abondance relative appartenant à 5 familles et 24 genres et/ou espèces. L'ordre des Trichoptères quant à lui dénombre 70 individus soit 2,20 % d'abondance relative, repartis en 5 familles et 7 genres et/ou espèces. L'ordre des Diptères totalise 30 individus soit 0,94 % d'abondance relative repartis en 8 familles et 10 genres et/ou espèces. Les ordres des Eulamellibranches et Oligochètes occupent les derniers rangs avec 18 individu soit 0,57 % d'abondance relative et 3 individus soit 0,09 % d'abondance relative respectivement appartenant à 1 famille et 1 genre et/ou espèce chacun (Figures 38 et 39A).

La richesse taxonomique dans le cours d'eau Sounou laisse apparaitre sur plan temporel que le mois de Décembre-19 est le plus diversifié avec 27 familles pour un total de 348 individus ; suivi du mois de Juillet qui compte 25 familles et dénombre 297 individus. Ensuite vient le mois de Juin avec ses 23 familles pour un effectif de 201 individus ; talonné de près par le mois d'Octobre avec 22 familles pour un effectif de 292 individus. Ensuite le mois de Février qui compte 20 familles pour 446 individus. Suivent les mois de Mars et Mai qui dénombrent chacun 19 familles soit 141 individus et 281 individus respectivement. Ils sont suivis de près par les mois de Décembre-18, Août et Novembre qui comptent chacun 18 familles et respectivement 181 individus, 304 individus et 114 individus. Les mois de Janvier et Avril dénombrent chacun 17 familles et respectivement 265 individus et 146 individus. Enfin vient le mois de Septembre qui dénombre 15 familles et 174 individus (Figure 39B).

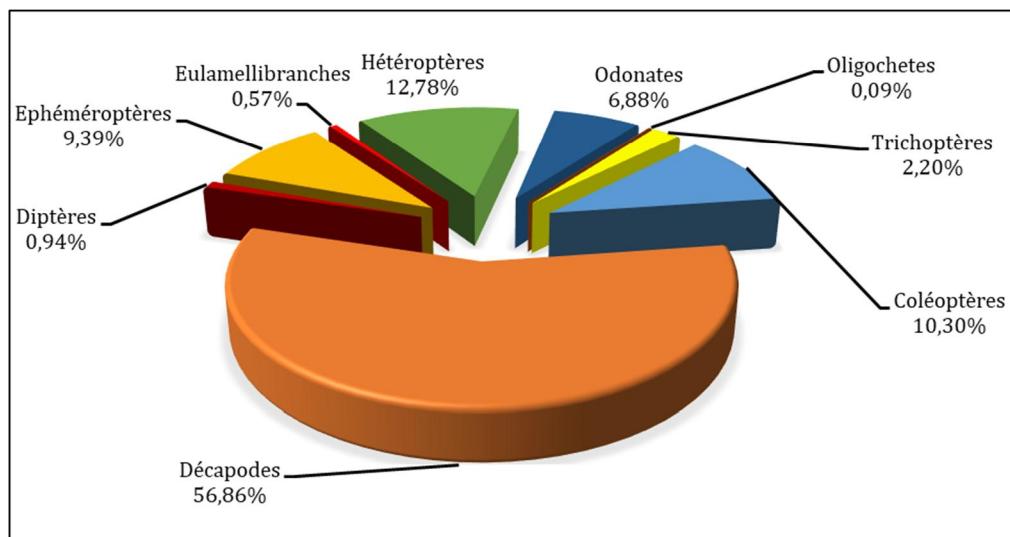


Figure 38 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Sounou durant la période d'étude

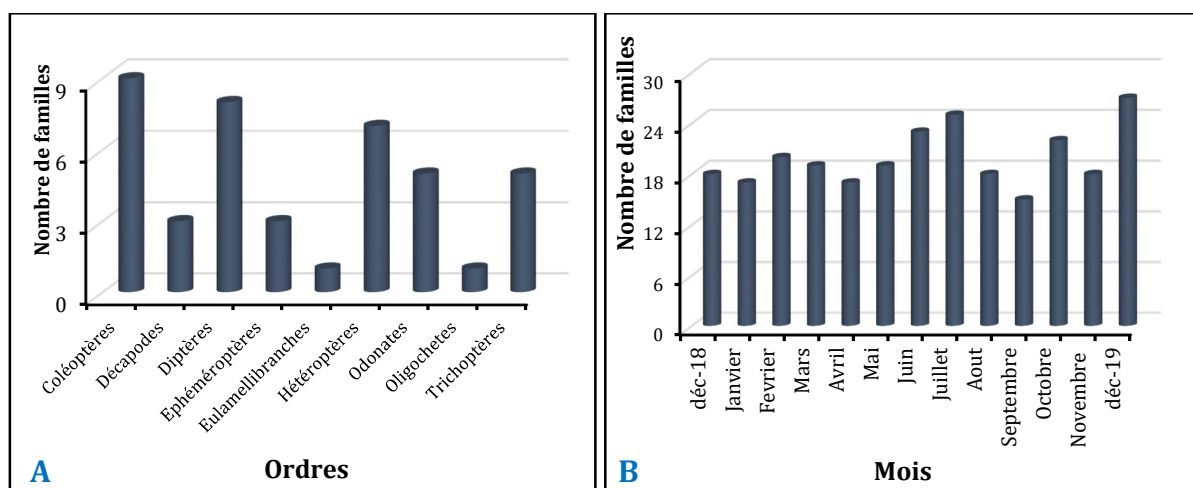


Figure 39 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Sounou pendant la période d'étude.

Tableau IX : Richesse taxonomique des MIB récoltes dans le cours d'eau Sounou

Classes	Ordres	Familles	Genres / espèces	Mois												Total		
				déc-18	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	A	Sept	Oct	Nov		déc-19	
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium sp</i>	6	6	16	9	3	3	5	16	2	1	1		13	81	
		Atyidae	<i>Caridina africana</i>	73	166	261	75	82	153	79	162	211	94	64	33	156	1609	
		Potamidae	<i>Sudanaute aubryi</i>	11		5	7	9	20	13	13	7	9	10	1	8	113	
			<i>Sudanaute africanus</i>		7					1							8	
Insecta	Heteroptera	Nepidae	<i>Ranatra linearis</i>	1	1	9	2	3	2	1	5	2	2	1	2	6	37	
		Belostomatidae	<i>Poissonia longifemorata</i>	8	7	22	5	10	10	8	6	10	7	3	6	12	114	
		Hydrometridae	<i>Hydrometra carayoni</i>			1	1	1			1					2	6	
		Gerridae	<i>Rhagadotarsus hutchinsoni</i>			1												1
			<i>Gerris sp</i>							1								1

		<i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>			2		1			3					6	
		<i>Hynesionella omer-cooperi</i>			1	1									2	
		<i>Tenagobius albobittatus</i>	1	1	9	1				6	11			6	35	
		<i>Gerrisella settembrinoi</i>		1				1	3						5	
	Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp	21	34	17	9	5	7	8	10	12	3	3	10	25	164
		<i>Mesovelia furcata</i>						2	1					2	1	6
	Naucoridae	<i>Naucoris</i> sp			1	1		1	1	1	1	2	3	1	1	13
	Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp			7	1		2		2	2				3	17
		<i>Derallus</i> sp		1										2	2	5
		<i>Regimbartia</i> sp								1						1
	Hydrophilidae	<i>Helophorus</i> sp						1								1
		<i>Dibolocerus</i>													1	1
		<i>Helobata</i> sp											1			1
	Gyrinidae	<i>Orectogyrus</i> sp	17	21	40	16	7	14	15	32	10	14	13	13	28	240
		<i>Cybester</i> sp								1	2		1	1	1	6
		<i>Laccophilus</i> sp								1						1
		<i>Copelatus erichsoni</i>		4												4
		<i>Hydrovatus senegalensis</i>			7											7
		<i>Hydaticus exclamationis</i>			4											4
		<i>Neptosternus tricuspis</i>							1							1
		<i>Yola enigmatica</i>	1													1
		<i>Herophydrus guineensis</i>	1													1
		<i>Desmopachria</i> sp									1					1
	Chrysomelidae	<i>Macroplea</i> sp	3	2												5
		<i>Donacia</i> sp							1							1
	Hydraenidae	<i>Hydraena</i> sp	2													2
		<i>Limnius</i> sp											1			1
		<i>Normandia</i> sp					2									2
		<i>Elmis</i> sp					1									1
		<i>Macronychus</i> sp													1	1
		<i>Hydrocanthus</i> sp			1			1	2	1	4		1		4	14
	Hydaticus	<i>Dorsiger</i> sp								2						2
		<i>Dryops</i> sp							4		4			1	1	10
		<i>Postelichus</i> sp									4	4	1	1	1	11
	Psychomyliidae	<i>Metalype fragilis</i>											1			1
		<i>Heptagenia</i> sp	2						1	2						5
		<i>Kageronia fuscogrisea</i>				1										1
		<i>Ecdyonurus</i> sp				2										2
		<i>Notonurus</i> sp							1			4			1	6
	Ephemerellidae	<i>Ephemerella sensu</i>										2	2	6	4	14
		<i>Thraulius bellus</i>			1				5	1		1			2	10
	Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia</i> sp	2			9	34	18			6	22	153		4	248
		<i>Leptophlebia</i> sp												13		13
		<i>Hydropsyche</i> sp	15	1	4	1	2	3	16				2	1	15	60
		<i>Cheumatopsyche lepida</i>		1	1					1						3
	Calamoceratidae	<i>Calamoceras</i> sp													2	2
		<i>Agrypia crassicornis</i>		1			1									2
		<i>Phryganea</i> sp													1	1
	Polycentropodidae	<i>Neureclipsis</i> sp				1										1

		Brachycentridae	<i>Oligoplectrum maculatum</i>											1		1	
		Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>		3				3							6	
			<i>Gomphus onychogomphus</i>		1											1	
			<i>Lestinogomphus angustus</i>	4	3	6	1	2	6		12	2	2	4		2	44
			<i>Ictinogomphus ferox</i>								5	2	3	2			12
		Libellulidae	<i>Somatochlora metallica</i>	1		2								2	2	7	
			<i>Orthetrum brunneum</i>		2	2			2	3		4	1	7	13	2	36
			<i>Orthetrum caeruleum</i>	2				2									4
			<i>Orthetrum albistylum</i>							3							3
			<i>Libellula quadrimaculata</i>			2			3					1		6	12
			<i>Libellula fulva</i>								2						2
			<i>Libellula depressa</i>			1											1
			<i>Leucorrhinia caudalis</i>				2										2
			<i>Leucorrhinia albifrons</i>				1										1
			<i>Leucorrhinia pectoralis</i>										1				1
			<i>Epithea bimaculata</i>													1	1
			<i>Sympetrum flaveolum</i>			2											2
			<i>Sympetrum depressiusculum</i>					1		2	2	1	1		2	8	17
			<i>Macromia splendens</i>	1		3		1			5					2	12
		<i>Crocothemis erythraca</i>											2			2	
		Calopterygidae	<i>Calopteryx splendens</i>	4	1			5	1	1	1		2			15	
			<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	1					1	1	1						4
		Aeshnidae	<i>Boyeria irene</i>						1							1	
			<i>Anax imperator</i>								1						1
		Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp	4			1	5					5	1	7	23	
		Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp				1								5	6	
			<i>Dasyheleina</i> sp		1							2		1	1		5
		Ceratopogonidae	<i>Leptoconops</i> sp							2			1			3	
		Limoniidae	<i>Scleroprocta</i> sp							1						1	
		Ptychopteridae	<i>Ptychoptera</i> sp							1						1	
		Scatophagidae	<i>Acanthocnema</i>			2										2	
		Thaumaleidae	<i>Thaumalea</i> sp				1			2						3	
			<i>Leptoconopinae</i>			3											3
		Dixidae	<i>Dixella</i> sp			3										3	
		Tipulidae	<i>Liogma nodicornis</i>												3	3	
Bivalava	Eulamelli brancha	Unionidae	<i>caelatura aegyptica</i>		11	2		4	1							18	
Oligochaeta	Oligochte	//	//										3			3	

### III.1.3.4.4 -Cours d'eau Lo'o

Dans le cours d'eau Lo'o, tout au long de l'étude, un total de 1673 MIB ont été identifiés en 107 taxons donc 103 taxons identifiés au rang du genre et/ou espèce, 3 taxons au rang de famille et 1 taxon au rang de l'ordre (Tableau XII). Les différents taxons sont regroupés en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 4 classes (Crustacés, Insectes, Bivalves et Oligochètes), 10 ordres, et 45 familles. L'embranchement



des Arthropodes étant le plus représenté avec 2 classes (Crustacés et Décapodes), 8 ordres (Décapodes, Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 41 familles et 101 genres et/ou espèces. Suivi de l'embranchement des Mollusques qui compte 1 classe (Bivalves), 1 ordre (Eulamellibranches), 2 familles 2 espèces. De même, l'embranchement des Annélides compte 1 ordre, 2 familles et 2 genres et/ou espèces.

La classes des Insectes étant la plus représentée dans le cours d'eau Lo'o dénombre 1142 individus soit 68,26 % d'abondance relative et compte 7 ordres (Hétéroptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Odonates et Diptères), 38 familles et 98 genres et/ou espèces. Elle est suivi par la classe des Crustacés qui compte 512 individus soit 30,60 % d'abondance relative reparti 1 ordre (Décapodes) 3 familles et 3 genres et/ou espèces. La classe des Bivalves enregistre 16 individus soit 0,96 % d'abondance relative repartis en 1 ordre (Eulamellibranche), 2 familles et 2 espèces. Enfin la classe des Oligochètes qui totalise seulement 3 individus soit 0,18 % d'abondance relative regroupés dans 1 ordre et 2 familles.

L'ordre des Décapodes est le plus représenté dans ce peuplement de MIB avec 512 individus soit 30,60 % d'abondance relative et compte 3 familles et 3 genres et/ou espèces. Il est suivi de l'ordre des Hétéroptères qui totalisent 374 individus soit 22,36 % d'abondance relative, répartis en 7 familles et 21 genres et/ou espèces. Ensuite vient l'ordre des Coléoptères avec 361 individus soit 21,58 % d'abondance relative, regroupés en 11 familles et 29 genres et/ou espèces. L'ordre des Ephéméroptères suit avec 179 individus soit 10,70 % d'abondance relative, groupés en 3 familles et 7 genres et/ou espèces. Ensuite l'ordre des odonates totalise 160 individus soit 9,56 % d'abondance relative appartenant à 5 familles et 27 genres et/ou espèces. L'ordre des Trichoptères lui dénombre 44 individus soit 2,63 % d'abondance relative, repartis en 2 familles et 2 genres et/ou espèces. L'ordre des diptères totalise 21 individus soit 1,26 % d'abondance relative groupés dans 9 familles et 9 genres et/ou espèces. Les ordres des Eulamellibranches et Oligochètes occupent les derniers rangs avec 16 individu soit 0,96 % d'abondance relative et 3 individus soit 0,18 % d'abondance relative respectivement appartenant à 2 familles et 2 genres et/ou espèces chacun (Figures 40 et 41A).

La richesse taxonomique dans le cours d'eau Lo'o présente sur le plan temporel une plus grande diversité durant le mois d'Août qui compte 27 familles pour un effectif de

147 individus. Suivi du mois de Juin avec 24 familles et pour un total de 191 individus, ensuite le mois Novembre qui compte 22 familles et un effectif de 92 individus. Suivi du mois d'Avril avec 21 familles et 80 individus, talonné de près par le mois de Juillet avec 20 familles et un total de 212 individus. Le mois de Janvier suit avec 18 familles et 113 individus, talonné de près par les mois de Février, mars, Mai, Septembre et Décembre-19 qui dénombrent chacun 17 familles avec respectivement 384 individus, 39 individus, 80 individus, 49 individus et 196 individus. Enfin vient le mois d'Octobre qui totalise 14 familles pour 90 individus (Figure 41B).

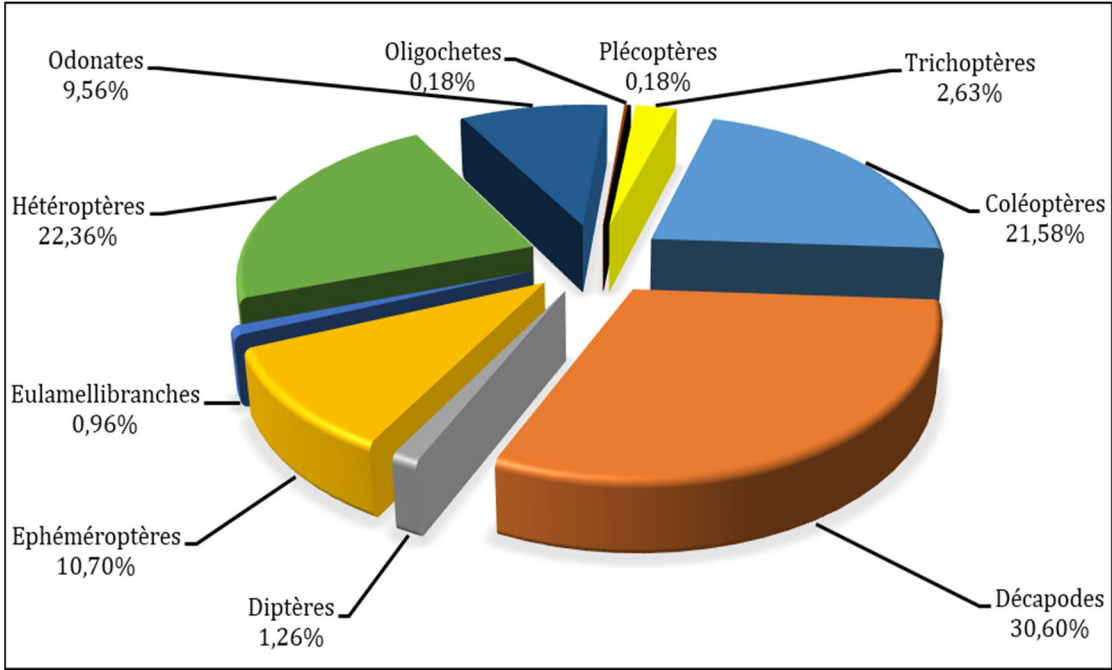


Figure 40 : Abondance des ordres de MIB récoltés dans le cours d'eau Lo'o pendant la période d'étude

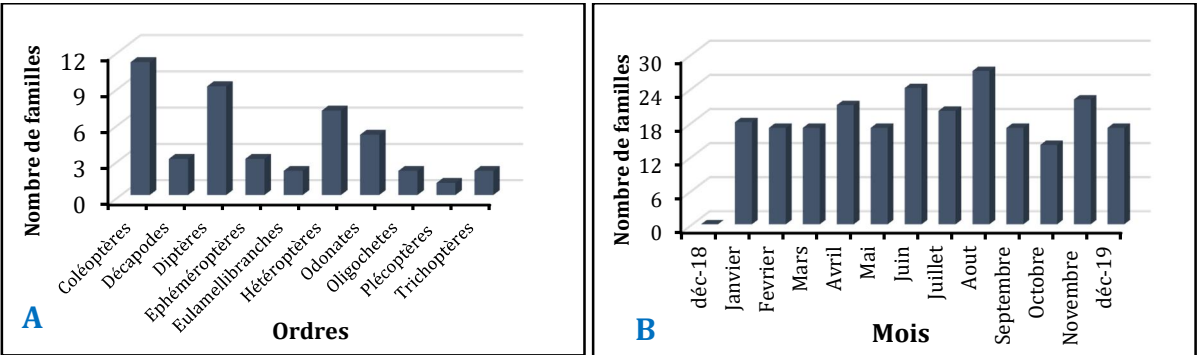


Figure 41 : Abondance relative des familles par ordres (A) et par mois (B) des MIB récoltés dans le cours d'eau Lo'o pendant la période d'étude.

Tableau X : Richesse taxonomique des MIB dans le cours d'eau Lo'o

Classes	Ordres	Familles	Genres / espèces	Mois												Total			
				déc18	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	A	Sept	Oct	Nov		déc-19		
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i> sp		7	17	1	3		13	12	11		3	3	7	77		
		Atyidae	<i>Caridina africana</i>		18	132	2	9	12	27	78	36	3	9	14	57	397		
		Potamidae	<i>Sudanaonate aubryi</i>		2		1	3	4	9	5	7		6	1		38		
Insecta	Heteroptera	Nepidae	<i>Ranatra linearis</i>		13	15	4	1	3	5	9	7	1	5	4	4	71		
			<i>Nepa</i> sp		1					1								2	
		Belostomatidae	<i>Poissonia longifemorata</i>		12	24	4	5	7	17	5	8	2	8	3	6		101	
			<i>Lethocersus</i> sp		2						1							3	
		Hydrometridae	<i>Hydrometra carayoni</i>		2	8	2				2	3	1	1		1	1	21	
		Gerridae	<i>Rhagadotarsus hutchinsoni</i>			3	3							2				8	
			<i>Gerris</i> sp							2								2	
			<i>Trepobates</i> sp													2		2	
			<i>Limnogonus</i> sp														1	1	
			<i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>					1					1					2	
			<i>Hynesionella omer-cooperi</i>		5	1												6	
			<i>Tenagogonus albovittatus</i>		6	10						13	13	3			1	4	50
			<i>Gerrisella settembrinoi</i>		1			1			1							3	
			<i>Halobates micans</i>			1												1	
		Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp			4	2	1			12		6	2	3	8	19	57	
			<i>Mesovelia furcata</i>		1			1			2				2	3	2	11	
			<i>Carayonella hutchinsoni</i>		1													1	
			<i>Microvelia</i> sp							2	1			1	1			5	
		Naucoridae	<i>Naucoris</i> sp		1			2					1					4	
			<i>Aphelecheirus</i> sp															0	
		Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp		1	20	1					1						23	
		Hydrophilidae	<i>Derallus</i> sp		3	2	1				6	1	1				1	15	
			<i>Regimbartia</i> sp		5													5	
			<i>Chaetarthria</i> sp								1							1	
			<i>Dibolocerus</i> sp										3				2	5	
			<i>Hydrophilus senegalensis</i>										1					1	
		Gyrinidae	<i>Orectogyrus</i> sp		13	117	8	9	3	12	33	3	3	5	11	38	255		
		Dytiscidae	<i>Cybester</i> sp		3	1					1							5	
			<i>Laccophilus</i> sp			2	1					2				1		6	
			<i>eretes</i> sp			1												1	
<i>Hydaticus exclamationis</i>				1												1			
<i>Dytiscicus</i> sp				3												3			
<i>Hydrotrupes</i> sp														1		1			
<i>Graphoderus</i> sp											1					1			
<i>Agabetes</i> sp											1					1			
Chrysomelidae	<i>Macrolea</i> sp							1								1			
	<i>Donacia</i> sp								1							1			
Hydraenidae	<i>Hydraenopsis ripae</i>		1			1										2			
	<i>Hydraena</i> sp		9													9			
Elmidae	<i>Rioulus</i> sp		1													1			
	<i>Potamophilus</i> sp		1													1			
	<i>Normandia</i> sp						1									1			

		<i>Macromyrmex</i> sp													2	2	
	Noteridae	<i>Hydrocanthus</i> sp			2									1		3	
	Hydaticus	<i>Dorsiger</i> sp							5							5	
	Dryopidae	<i>Dryops</i> sp						8		5						13	
		<i>Helichus</i> sp								1						1	
		<i>Postelichus</i> sp									1	2	2	4		9	
	Scirtidae	<i>Elodes</i> sp						8				1				9	
	Amphizoidae	<i>Amphizoia</i> sp										1				1	
Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Heptagenia sulphurea</i>					1									1	
		<i>Heptagenia</i> sp		3		2		8								13	
		<i>Notonurus</i> sp									1					1	
	Ephemerellidae	<i>Ephemerella sensu</i>								2	2	2	2			8	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulius bellus</i>		1		1	2	2	2	1	2						11
		<i>Adenophlebia</i> sp				23	24	15	2	2	20	26	7	25			144
	<i>Leptophlebia</i> sp					1										1	
Plecoptera	Neoperlidae	<i>Neoperla</i> spp			1						1		1			3	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> sp			1	3	3	1	18			4	1	12		43	
	Calamoceratidae	<i>Calamoceras</i> sp												1		1	
Odonata	Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>						3								3	
		<i>Lestinogomphus angustus</i>	1		3	2	2		4	4		1	2	2		21	
		<i>Gomphus pulchelus</i>				1											1
		<i>Ictinogomphus ferox</i>							3	1				2	2		8
		<i>Paragomphus genei</i>							1								1
	Libellulidae	<i>Somatochlora metallica</i>	1												1		2
		<i>Orthetrum brunneum</i>				2					1	1	2	1			7
		<i>Orthetrum caerulelescens</i>				1											1
		<i>Orthetrum albistylum</i>					1	1									2
		<i>Orthetrum cancellatum</i>							2								2
		<i>Libellula quadrimaculata</i>		7							1	1					9
		<i>Libellula fulva</i>						1	1	2							4
		<i>Leucorrhinia pectoralis</i>				2											2
		<i>Epithea bimaculata</i>												2	1		3
		<i>Sympetrum meridionale</i>			1												1
		<i>Sympetrum flaveolum</i>								5							5
		<i>Sympetrum vulgatum</i>			1												1
		<i>Sympetrum dennessiusculum</i>							3		1	1		5	5		15
		<i>Macromia splendens</i>		3			5	5	13				2				28
	<i>Crocothemis caudalis</i>												1			1	
	<i>Crocothemis erythraca</i>				2					1		3				6	
	Calopterygidae	<i>Calopteryx splendens</i>			1	2	2										5
		<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>				2	1	4									7
	Aeshnidae	<i>Boyeria irene</i>		1		1	2										3
		<i>Anax imperator</i>							4								4
		<i>Aeshnia cyanea</i>								2							4
	Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp			1	1	1	1	1	1	1	6					2
Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp											7			12	
	Ceratopogonidae	<i>Dasyheleina</i> sp								1			1			7	
	Canacidae	<i>Canace macateei</i>												2		2	
	Limoniidae	<i>Scleroprocta</i> sp		2												2	

		Ptychopteridae	<i>Ptycoptera</i> sp				1										2
		Thaumaleidae	<i>Thaumalea</i> sp						1								1
		Dixidae	<i>Dixella</i> sp				1										1
		Sciomyzidae	<i>Hedria mixta</i>								2	1					1
		Tipulidae	<i>Tipula furca</i>								1	1					3
Bivalava	Eulamelli brancha	Unionidae	<i>caelatura aegyptica</i>		2	5	1					2					2
		Pilidae	<i>Lanistes adansoni</i>						1	2	2				1		10
																	6

### III.1.3.5- Fréquence d'occurrence des taxons de MIB

#### III.1.3.5.1- Fréquence d'occurrence dans l'ensemble des bassins versants étudiés

Les macroinvertébrés benthiques récoltés durant la période d'étude ont été identifiés en 174 taxa. De tous les taxons identifiés, 113 sont rares soit 64,9% d'abondance relative ; 26 sont accessoires soit 14,9% d'abondance relative ; 16 sont constants ce qui représente 9,2% d'abondance relative ; 10 réguliers soit 5,7% d'abondance relative et 9 sont omniprésents soit 5,2% d'abondance relative (Figure 42). La liste de tous les taxons ainsi que leurs fréquences d'occurrence est donnée dans le tableau XIII.

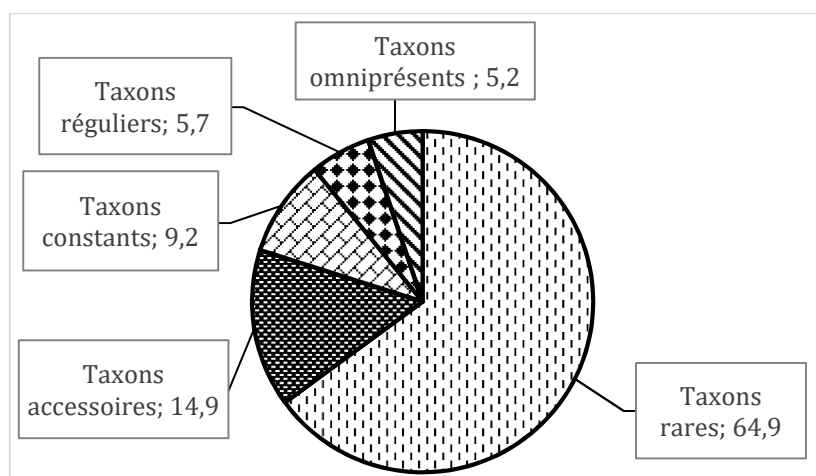


Figure 42 : Fréquence d'occurrence des taxons de MIB dans l'ensemble des cours d'eau pendant la période d'étude

Tableau XI : Liste des taxons selon la fréquence d'occurrence

Classes	Ordres	Familles	Genres / Espèces	GSS	PSP	PSS	GSP	Global
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	*****	*****	*****	*****	*****
		Atyidae	<i>Caridina africana</i>	*****	*****	*****	*****	*****
		Potamididae	<i>Sudanonaute aubryi</i>	*****	*****	*****	*****	*****
			<i>Sudanaute africanus</i>	**	***			*
Insecta	Heteroptera	Nipidae	<i>Ranatra linearis</i>	*****	*****	*****	*****	*****

		<i>Nepa sp.</i>	**	***			*
		<i>Laccotrephes sp.</i>	**				*
	Belostomidae	<i>Poissonia longifemorata</i>	*****	*****	*****	*****	*
		<i>Lethocersus</i>	**	**		**	*
	Hydrometidae	<i>Hydrometra carayoni</i>	****	*****	*****	****	****
	Gerridae	<i>Rhagadotarsus hutchinsoni</i>	***	**		**	**
		<i>Gerris</i>	****	***			**
		<i>Trepobates sp</i>	*			***	*
		<i>Limnogonus sp</i>	*				*
		<i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>	****	****		**	***
		<i>Hynesionella omer-cooperi</i>	****	**	*****		**
		<i>Tenagogonus albovittatus</i>	*****	***	*****	***	***
		<i>Gerrisella settembrinoi</i>	****	****			**
		<i>Halobates micans</i>	*			**	*
		Veliidae	<i>Velia</i>	***	**		
	<i>Rhagovelia</i>		*****	*****	*****	*****	*****
	<i>Mesovelia furcata</i>		***	*****	*****	****	****
	<i>Carayonella hutchinsoni</i>		**				*
	<i>Microvelia sp.</i>		***	****	*****	****	***
	Naucoridae	<i>Naucoris</i>	*****	*****	*****	*****	*****
		<i>Aphelecheirus</i>				**	*
	Notonectidae	<i>Notonecta sp.</i>	*****	***	*****	****	****
	Pleidae	<i>Plea sp.</i>		**			*
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Derallus sp.</i>	****	*****	*****	****	****
		<i>Neohydrophilus</i>		**			*
		<i>Enochrus</i>		**		***	*
		<i>Regimbartia sp.</i>	***		*****		*
		<i>Helophorus sp.</i>		**			*
		<i>Chaetarthria sp</i>		**			*
		<i>Dibolocerus</i>	**			**	*
		<i>Hydrophilus senegalensis</i>				**	*
		<i>Helobata sp</i>				**	*
		<i>Hydrochara sp</i>	**				*
	Gyrinidae	<i>Orectogyrus</i>	*****	*****	*****	*****	*****
		<i>Aulonogyrus</i>	**				*
	Dytiscidae	<i>Acilus</i>	**				*
		<i>Cybester</i>	****	*****	*****	****	***
		<i>Laccophilus</i>	****	***	*****	****	***
		<i>Copelatus erichsoni</i>	**	**			*
		<i>Hydrovatus senegalensis</i>	***				*
		<i>eretes</i>	**	**			*
		<i>Hydaticus exclamationis</i>	**				*
		<i>Neptosternus tricuspis</i>	**	****	*****		**
		<i>Yola enigmatica</i>	**	**			*
		<i>Herophydrus guineensis</i>	**				*
		<i>Heterhydrus senegalensis</i>	**				*
		<i>Dytiscicus</i>	**			**	*
		<i>Ilybius sp.</i>		**			*

		<i>Hydrotrupes sp.</i>		**		**	*
		<i>Celina sp</i>		**			*
		<i>Desmopachria sp</i>	**	**		****	**
		<i>Hyphydrus sp</i>				**	*
		<i>Graphoderus</i>				**	*
		<i>Agabetes sp</i>				**	*
	Chrysomelidae	<i>Macrolea</i>	***	**			*
		<i>Donacia</i>		**			*
	Hydraenidae	<i>Hydraenopsis ripae</i>	**	**			*
		<i>Hydraena</i>	***				*
	Elmidae	<i>Rioulus</i>	**				*
		<i>Potamophilus</i>	**				*
		<i>Limnius</i>	***			**	*
		<i>Pseudoncyronyx</i>	**			**	*
		<i>Normandia</i>		**			*
		<i>Elmis</i>		**			*
		<i>Optioservus sp</i>				**	*
	Noteridae	<i>Macronychus sp</i>	**				*
		<i>Noterus</i>	**				*
		<i>Hydrocanthus sp.</i>	**	****	****	****	***
	Sperchelodae	<i>Spercheus</i>				**	*
	Hydaticus	<i>Dorsiger sp</i>			****		*
	Dryopidae	<i>Pelonomus sp.</i>		**			*
		<i>Dryops sp.</i>	**	***		***	**
		<i>Helichus</i>				**	*
		<i>Postelichus sp</i>	**			****	**
	Haliplidae	<i>Haliplus sp</i>	**	**			*
	Scirtidae	<i>Elodes sp</i>		**		***	*
		<i>Prionocyphon</i>				**	*
	Amphizoidae	<i>Amphizoa</i>				**	*
	Psychomyliidae	<i>Metalype fragilis</i>				**	*
Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Heptagenia sulphurea</i>	**	**			*
		<i>Heptagenia sp.</i>		***	****		**
		<i>Kageronia fuscogrisea</i>		**			*
		<i>Ecdyonurus sp.</i>		**			*
		<i>Afronurus sp.</i>		**			*
		<i>Notonurus sp</i>	**	**		***	**
	Baetidae	<i>Cloeon sp.</i>	***	**		***	**
		<i>Baetis sp.</i>	**				*
		<i>Procleon sp.</i>		**			*
	Caenidae	<i>Caenis</i>				**	*
	Ephemerellida	<i>Ephemerella sensu</i>	****			****	***
	Leptophlebiidae	<i>Thraulius bellus</i>	****	****	****	***	****
		<i>Adenophlebia sp.</i>	***	****	****	****	****
		<i>Leptophlebia sp.</i>		**		**	*
Siphonuridae	<i>Siphonurus sp</i>				**	*	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche sp.</i>	****	****	****	***	****
		<i>Cheumatopsyche lepida</i>	***		****		*
	Calamoceratid	<i>Calamoceras sp</i>	**				*

		Phryganeidae	<i>Agrypia crassicornis</i>	**	**			*	
			<i>Phryganea sp</i>	**				*	
		Hebridae	<i>Lipogomphus sp</i>	**				*	
		Polycentropodidae	<i>Neureclipsis sp.</i>		**			*	
		Ecnomidae	<i>Ecnomus sp.</i>		**			*	
		Brachycentrid	<i>Oligoplectrum maculatum</i>				**	*	
Odonata	Gomphidae		<i>Gomphus vulgatissimus</i>	***	**	*****		**	
			<i>Gomphus onychogomphus</i>	**				*	
			<i>Lestinogomphus angustus</i>	*****	****	*****	*****	****	
			<i>Gomphus pulchelus</i>		**			*	
			<i>Ictinogomphus ferox</i>	**	**	*****	*****	***	
			<i>Paragomphus genei</i>			*****		à	
		Libellulidae		<i>Somatochlora metallica</i>	*****			***	**
			<i>Orthetrum brunneum</i>	****	****		*****	***	
			<i>Orthetrum caerulescens</i>	****	***			**	
			<i>Orthetrum albistylum</i>	**	***			*	
			<i>Orthetrum cancellatum</i>		**	*****		*	
			<i>Libellula quadrimaculata</i>	****	**		*****	***	
			<i>Libellula fulva</i>	***	**	*****	***	**	
			<i>Libellula depressa</i>	***				*	
			<i>Leucorrhinia caudalis</i>		**			*	
			<i>Leucorrhinia albifrons</i>		**			*	
			<i>Leucorrhinia pectoralis</i>		**		**	*	
			<i>Epithea bimaculata</i>	**			**	*	
			<i>Brachythemis leucosticta</i>	***	**			*	
			<i>Sympetrum meridionale</i>	****	**			**	
			<i>Sympetrum flaveolum</i>	***	**	*****	**	**	
			<i>Sympetrum vulgatum</i>		***	*****		*	
			<i>Sympetrum depressiusculum</i>	***	****	*****	*****	***	
			<i>Macromia splendens</i>	****	****	*****	**	***	
		<i>Crocothemis caudalis</i>				**	*		
		<i>Crocothemis erythraca</i>		**		***	**		
		<i>Cordulia aenea</i>		**		**	*		
		Calopterygidae		<i>Calopteryx splendens</i>	***	****	*****	***	***
			<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	***	***	*****		**	
		Aeshnidae		<i>Brachytron pratense</i>		**			*
			<i>Boyeria irene</i>	**	***			*	
			<i>Anax imperator</i>			*****		*	
			<i>Aeshnia cyanea</i>				**	*	
		Coenagrionida		<i>Coenagrion sp.</i>	*****	*****	*****	*****	*****
	Diptera	Chironomidae		<i>Chironomus sp</i>	***	**		**	**
				<i>Dasyheleina sp.</i>	**			****	**
Ceratopogonidae			<i>Leptoconops sp</i>			*****	***	*	
			<i>Canace macateei</i>	**				*	
Limoniidae			<i>Scleroprocta sp.</i>	***		*****		*	
			<i>Hexatomini</i>			*****		*	
Ptychopterida			<i>Ptychoptera sp.</i>	**	**	*****		*	
Scatophagidae			<i>Acanthocnema</i>	**				*	
Thaumaleidae		<i>Thaumalea</i>		***			*		



			<i>Leptoconopinae</i>	**				*
		Dixidae	<i>Dixella</i>	**	***			*
		Chaoboridae	<i>Chaoborus sp</i>		***			*
		Sciomyzidae	<i>Hedria mixta</i>				***	*
		Tipulidae	<i>Tipula furca</i>				***	*
			<i>Liogma nodicornis</i>	**				*
Gasteropoda	Mesogasteropoda	Thiaridae	<i>Melania tuberculata</i>	*****	****	*****	***	****
		//	<i>Biomphalaria sp</i>		**		**	*
Bivalava	Eulamellibrancha	Unionidae	<i>caelatura aegyptica</i>	***	****		***	***
		Pilidae	<i>Lanistes adansoni</i>		***	*****	**	**

Taxons rares (\*); Taxons accessoires (\*\*); Taxons constants (\*\*\*) ; Taxons réguliers (\*\*\*\*); Taxons omniprésents (\*\*\*\*\*)

### III.1.3.5.2- Variation spatiale de la fréquence d'occurrence

#### III.1.3.5.2.1- Fréquence d'occurrence dans les différents cours d'eau

La fréquence d'occurrence des macroinvertébrés benthiques durant la période d'étude dans les différents cours d'eau est présentée dans la Figure 43 suivante.

Dans le cours d'eau Métyi, les taxons rares représentent 59,46% des organismes suivi de taxons accessoires (21,62%), ensuite les taxons constants (10,82%), les taxons réguliers (6,76%) et enfin les taxons omniprésents qui ne représentent que 1,35% du peuplement global. Dans le cours d'eau Bengo, les taxons rares représentent 73,12 % du peuplement suivi de taxons accessoires (12,9 %), ensuite les taxons constants (6,45 %), les taxons réguliers (5,38 %) et enfin les taxons omniprésents qui ne représentent que 2,15 % du peuplement global. Dans le cours d'eau Sounou, on note la prédominance des taxons rares (67,01%), suivi des taxons accessoires (17,53 %), ensuite les taxons constants (5,15%), les taxons réguliers (5,15%) et enfin les taxons omniprésents (5,15 %). Dans le cours d'eau Lo'ou, les taxons rares (63,21%) prédominent suivi de taxons accessoires (21,7%), les taxons constants (5,66%), les taxons réguliers (5,66%) et enfin les taxons omniprésents qui ne représentent que 3,77 % du peuplement global.

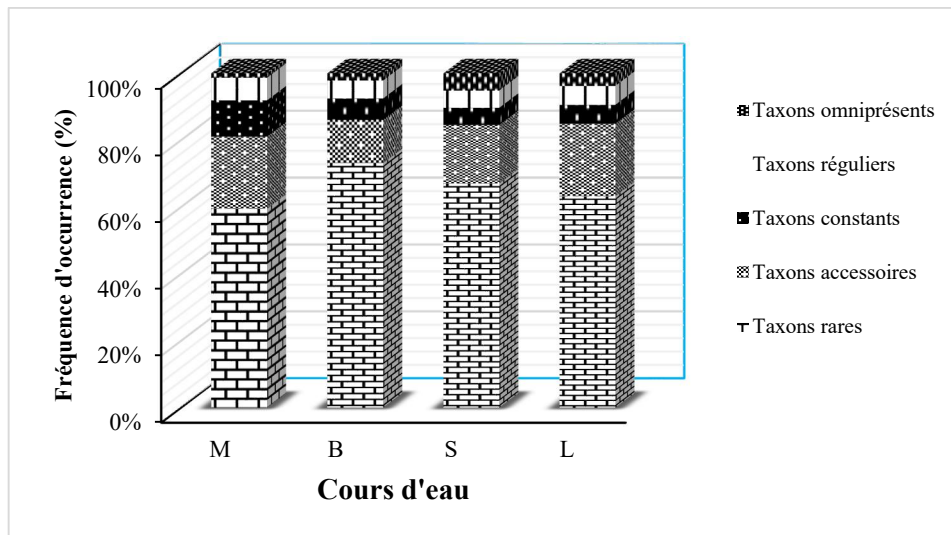


Figure 43 : : Fréquence d'occurrence des taxons de macroinvertébrés benthiques récoltés dans chaque cours d'eau.

### III.1.3.5.2.2 - Fréquence d'occurrence par station

Les occurrences des différents taxa de MIB durant toute la période d'étude dans les différentes stations sont représentées dans le graphe de la Figure 44. Globalement, on peut noter la prédominance des taxa rares soit plus de 90 % d'abondance relative à toutes les stations et une faible représentativité des autres taxa avec moins de 10 % d'abondance absolue. En effet, les taxa rares présentent des abondances qui varient de 150 à la station S1 taxa à 164 taxa à la station M3 avec une moyenne de  $155,5 \pm 3,7$  taxa. En suite les taxons accessoires présentent les abondances allant de 3 taxa à la station M3 à 10 taxa à la station L1, pour une moyenne de  $6,00 \pm 2,04$  taxa. Les taxons constants ont varié de 1 taxon à la station M3 à 7 taxa à la station M2, soit une moyenne de  $4,66 \pm 1,61$  taxa. Les taxons réguliers eux présentent des abondances qui ont varié de 0 taxon M3 à 4 taxa à la station S3 pour une moyenne de  $1,66 \pm 1,15$  taxa. Enfin les taxons omniprésents ont varié de 0 taxon pour les stations M1, M2, M3, B1, B2, B3, S3, L1, L2 et L3 à 2 taxa à la station L1, soit une moyenne de  $0,25 \pm 0,6$  taxa.

Sur le plan spatial, les analyses révèlent que la station M1 se compose de 157 taxons rares, 7 taxa accessoires, 3 taxa constants et 1 taxon régulier. Tandis que la station M2 se définit par 156 taxa rares, 4 taxa accessoires, 7 taxa constants et 1 taxon régulier. La station M3, se définit par 164 taxa rares, 3 taxa accessoires et 1 taxon constant. La station B1, présente 157 taxa rares, 6 taxa accessoires, 4 taxa constants et 1 taxon régulier.

A la station B2, on note 158 taxa rares, 5 taxa accessoires, 6 taxa constants et 1 taxon régulier. La station B3 se caractérise par 154 taxa rares, 7 taxa accessoires, 6 taxa constants et 1 taxon régulier. A la station S1, ont a enregistré 150 taxa rares, 8 taxa accessoires, 6 taxa constants, 2 taxa réguliers et 2 taxa omniprésents. La station S2 est marquée par 154 taxa rares, 5 taxa accessoires, 4 taxa constants, 3 taxa réguliers et 1 taxon omniprésent. Alors que S3 se caractérise par 154 taxa rares, 5 taxa accessoires, 5 taxa constants, et 4 taxa réguliers. La station L1 se définit par 152 taxa rares, 10 taxa accessoires, 4 taxa constants et 2 taxa réguliers. La station L2 est marquée par 152 taxa rares, 8 taxa accessoires, 5 taxa constants et 3 taxa réguliers. Enfin la station L3, est caractérisée par 158 taxa rares, 4 taxa accessoires, 5 taxa constants et 1 taxon régulier (Figure 44).

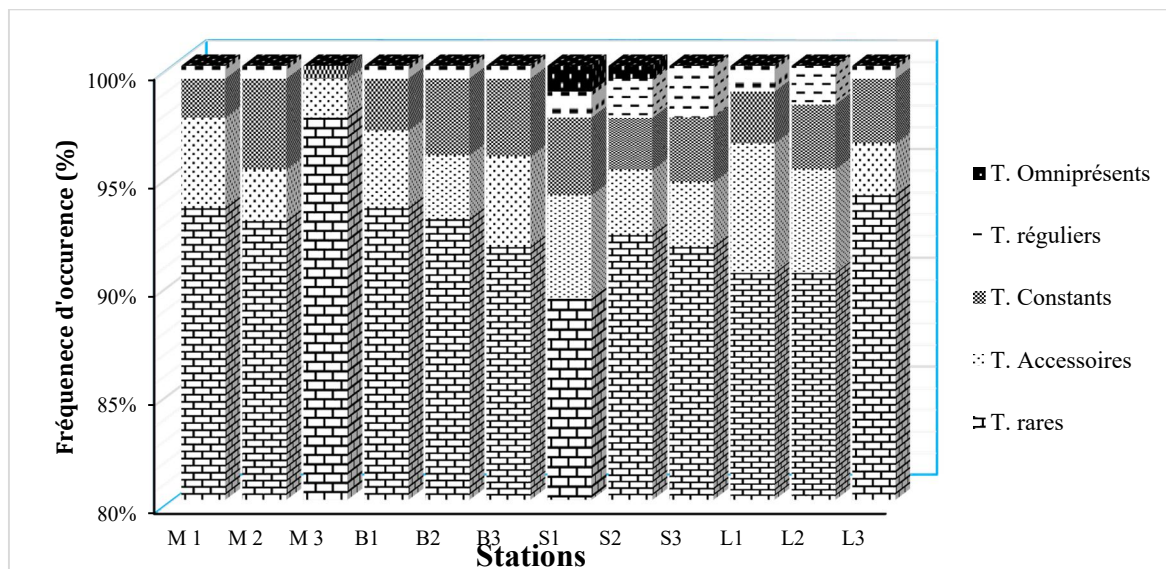


Figure 44 : Fréquence d'occurrence des taxons de macroinvertébrés benthiques récoltés dans chaque station d'échantillonnage pendant la période d'étude.

### III.1.3.5.3- Variation saisonnière de la fréquence d'occurrence

Les variations saisonnières de la fréquence d'occurrence des MIB sont consignées dans la Figure 45 ci-dessous.

Au cours de la GSS, un total de 111 taxons a été identifié parmi lesquels 52 taxons rares soit 46,85% d'abondance relative, 27 taxons accessoires soit 24,82% d'abondance relative, 17 taxons constants soit 15,32% d'abondance relative et 15 taxons omniprésents soit 13,51 % d'abondance relative.

Durant la PSP, 106 taxons ont été identifiés donc 59 taxons rares soit 55,66% d'abondance relative, 17 taxons accessoires soit 16,04% d'abondance relative, 15 taxons

constants soit 14,15% d'abondance relative et enfin 15 taxons omniprésents soit 14,15% d'abondance relative.

Pendant la PSS, un total de 51 taxons a été dénombré et correspondant au groupe des taxons omniprésents.

Enfin, lors de la GSP, 92 taxons ont été répertoriés donc 42 taxons rares soit 45,65% d'abondance relative, 21 taxons accessoires soit 22,83% d'abondance relative, 12 taxons constants soit 13,04% d'abondance relative et 17 taxons omniprésents soit 18,48% d'abondance relative.

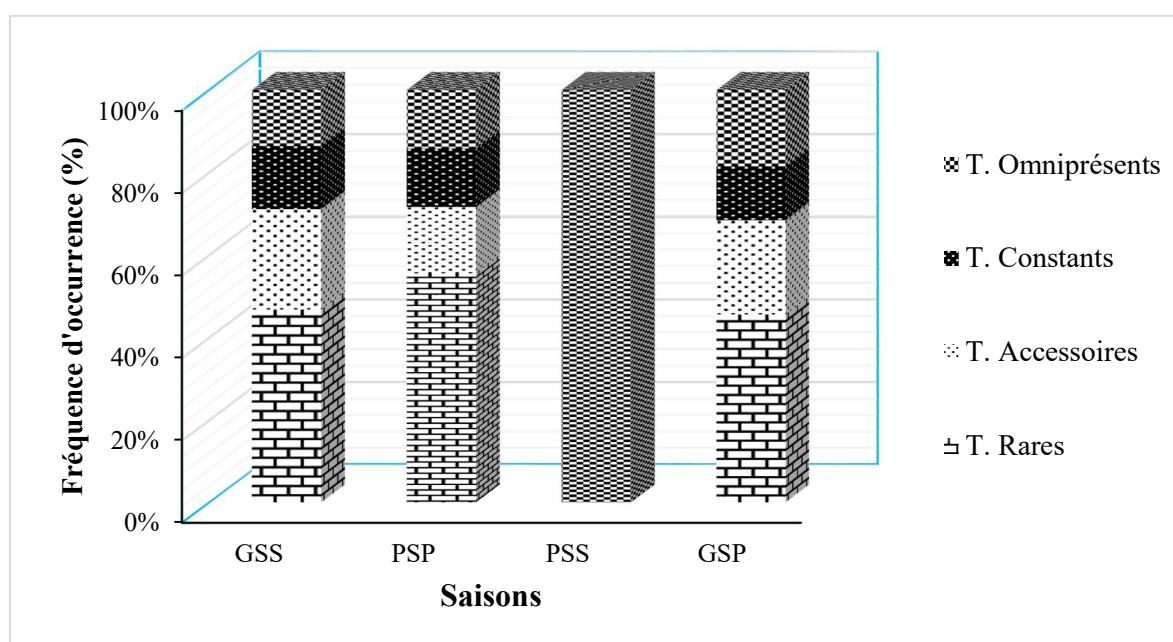


Figure 45 : Fréquence d'occurrence des taxons de MIB par saison

### III.1.3.6- Indices Biocénétiques

#### III.1.3.6.1- Variations temporelle de l'indice de Shannon & Weaver, Equitabilité de Piérou, de l'indice de Simpson et la richesse spécifique

Les valeurs des indices de Shannon & Weaver, l'Equitabilité de Pielou ainsi que l'indice de Simpson présentent des courbes qui évoluent dans le même sens. L'indice  $H'$  de Shannon & Weaver a varié de 3,47 bit à 4,63 bit soit une moyenne de  $3,96 \pm 0,38$  bit. La plus faible valeur de cet indice a été enregistrée aux mois de février et septembre, tandis que la plus forte valeur l'indice de Shannon & Weaver a été enregistrée durant le mois de novembre. Les mois d'Avril, juillet et Octobre présentent des valeurs de l'indice inférieur à la moyenne. L'indice d'Equitabilité  $J$  de Pielou a varié de 0,60 (mois de février) à 0,83 (mois de novembre) avec une valeur moyenne de  $0,70 \pm 0,06$ . L'indice de diversité

de Simpson présente des valeurs qui oscillent de 0,79 (mois d'août) à 0,94 observé au mois de novembre, soit une moyenne de  $0,86 \pm 0,04$ .

La richesse spécifique (S) de MIB récoltés présente des valeurs qui varient de 33 espèces enregistrées au mois de septembre à 64 espèces récoltées au mois de janvier pour une valeur moyenne de  $50,15 \pm 8,43$  espèces (Figure 46).

Dans l'ensemble le test de Kruskal Wallis ne présente aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) pour ces différentes valeurs des indices y compris la richesse spécifique.

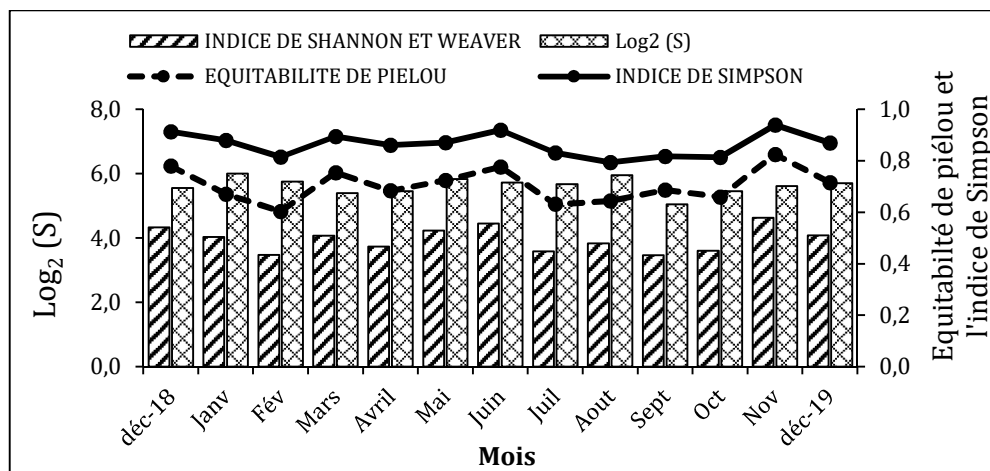


Figure 46 : Variation temporelle de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'étude

### III.1.3.6.2- Variations spatiales de l'indice de Shannon et Weaver, Equitabilité de Piélu, de l'indice de Simpson et la richesse spécifique

Les valeurs de l'indice de Shannon & Weaver varient de 3,29 bit dans le cours d'eau Sounou à 4,48 bit dans le cours d'eau Lo'o avec une moyenne de  $4,12 \pm 0,56$  bit. Les cours d'eau Metyi et Bengo présentent respectivement les valeurs de 4,24 bit et 4,47 bit de l'indice de Shannon & Weaver. Le test de Kruskal Wallis ne présente aucune différence significative entre ces valeurs ( $p = 0,39$ ).

L'équitabilité J de Piélu présente des valeurs qui varient de 0,50 dans le cours d'eau Sounou à 0,68 dans les cours d'eau Metyi et Bengo. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $0,63 \pm 0,08$ . Le test de Kruskal Wallis ne présente aucune différence significative entre les valeurs de Piélu ( $p = 0,39$ ).

Concernant l'indice de dominance de Simpson, les valeurs fluctuent de 0,73 dans le cours d'eau Sounou à 0,90 dans les cours d'eau Bengo et lo'o, soit une moyenne  $0,85 \pm 0,08$ . Le test de Kruskal Wallis ne présente aucune différence significative entre les valeurs de l'indice de Simpson ( $p = 0,39$ ).

Pour la richesse spécifique, elle a varié de 74 espèces dans le cours d'eau Métyi à 107 espèces dans le cours d'eau Lo'o, pour une moyenne de  $93,0 \pm 13,83$  espèces (Figure 47).

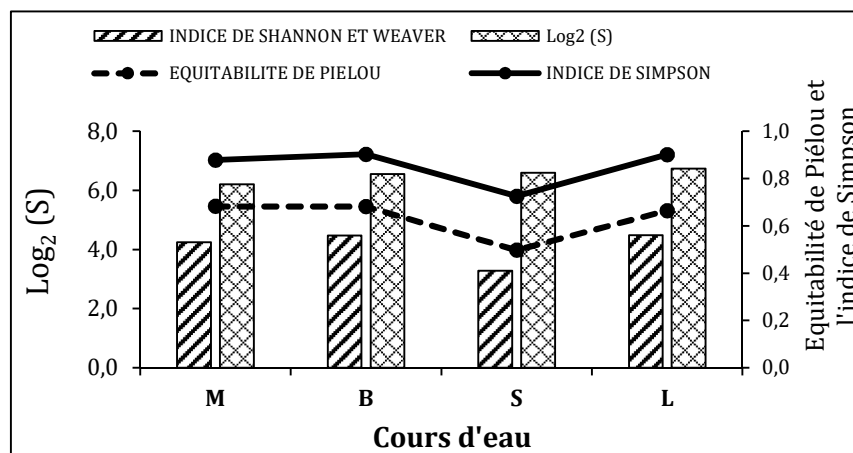


Figure 47 : Variation spatiale de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'étude

### III.1.3.6.3- Variations saisonnières de l'indice de Shannon & Weaver, Equitabilité de Piélu, de l'indice de Simpson et la richesse spécifique

L'indice de diversité de Shannon & Weaver présente des valeurs qui varient selon les saisons. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $4,07 \pm 0,42$  bit. Ainsi, la faible valeur (3,52 bit) a été enregistrée durant la PSS, alors que la plus grande valeur de cet indice (4,46 bit) a été obtenue à la PSP. D'après le test de Kruskal Wallis, aucune différence significative n'existe entre ces valeurs ( $p = 0,39$ ).

L'Equitabilité J de piélu varie de 0,58 en GSS à 0,66 durant la PSP et la GSP pour une moyenne de  $0,63 \pm 0,04$ . Le test de Kruskal Wallis ne signale aucune différence significative entre les différentes valeurs de l'ndice de Piélu ( $p = 0,39$ ).

L'indice de dominance de Simpson lui présente des valeurs qui s'étalent de 0,82 à la PSS à 0,88 pendant la PSP et la GSP. Ces valeurs tourbillonnent autour d'une moyenne

de  $0,85 \pm 0,03$ . Aucune différence significative n'est observée entre les différentes valeurs de Simpson ( $p = 0,39$ ).

Parlant de la richesse spécifique, elle s'étale de 51 espèces durant la PSS à 111 espèces pendant la GSP et PSP. Cette richesse spécifique varie autour d'une moyenne de  $90 \pm 27,21$  espèces (Figure 48).

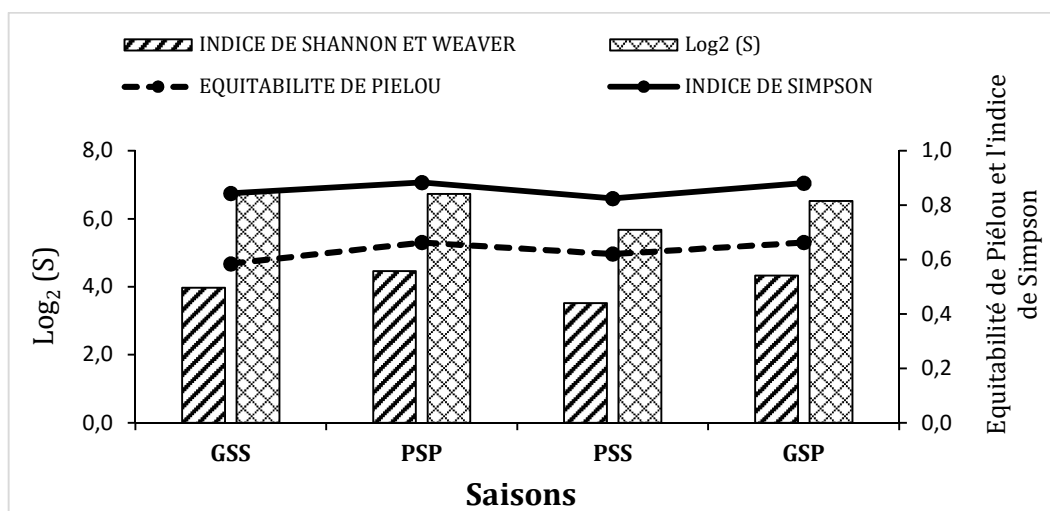


Figure 48 : Variation saisonnière de l'indice Shannon & Weaver, Equitabilité de Pielou et de l'indice de Simpson pendant la période d'été

### III.1.3.7- Groupes trophiques

Sur l'ensemble du bassin versant, la Figure 49 nous montre qu'en terme d'abondance relative, les prédateurs occupent la pole position avec 3562 individus soit 45,54% d'abondance relative, suivi des brouteurs/ déchetiers avec 2651 individus soit 33,89% d'abondance relative, ensuite viennent les racleurs avec 830 individus soit 10,61% d'abondance relative, après nous avons les détritivores avec 533 individus soit 6,81% d'abondance relative et enfin viennent les filtreurs avec 246 individus soit 3,14% d'abondance relative (Figure 49).

En terme de richesse taxonomique, la Figure 49 nous révèle que détritivores sont les plus diversifiés avec 18 familles (29,51%) suivi des prédateurs avec 16 familles (26,23%), ensuite les brouteurs/déchetiers avec 12 familles (19,67%), les racleurs avec 11 familles (18,03%) et les filtreurs ferme le classement avec seulement 4 familles (6,56%) (Figure 49).

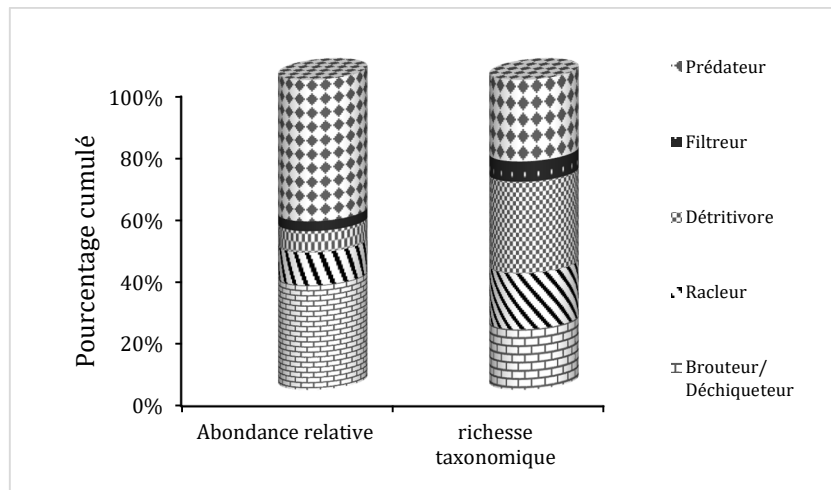


Figure 49 : Variation de l'abondance relative ainsi que la richesse taxonomique des différents groupes trophiques identifiés dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude

L'évaluation des groupes trophiques au niveau de chaque cours d'eau est présentée dans le graphe de la Figure 50 A.

Dans le cours d'eau Métyi, on note une nette domination des prédateurs avec 860 individus (65,55% d'abondance relative), suivent les racleurs avec 218 individus (16,62% d'abondance relative), ensuite viennent les brouteurs/déchiporteurs avec 85 individus (6,48% d'abondance relative), suivi des filtreurs avec 81 individus (6,17% d'abondance relative) et enfin les détritivores avec 68 individus (5,18% d'abondance relative). Dans le Bengo, les groupes trophiques sont classés ainsi qu'il suit, les prédateurs 1022 individus (61,79% d'abondance relative), les racleurs 333 individus (20,13 d'abondance relative), les détritivores 247 individus (14,93% d'abondance relative), les brouteurs/déchiporteurs 28 individus (1,69% d'abondance relative) et les filtreurs 24 individus (1,45% d'abondance relative). Dans le cours d'eau Sounou, les détritivores occupent la pôle position avec 1988 individus (62,48% d'abondance relative), suivi des prédateurs avec 944 individus (29,67% d'abondance relative), ensuite les racleurs avec 130 individus (4,09% d'abondance relative), les filtreurs avec 82 individus (2,58% d'abondance relative) et fin les brouteurs/déchiporteurs avec 38 individus (1,19% d'abondance relative). Dans le cours d'eau Lo'o, le classement des différents groupes trophiques est le suivant : Les prédateurs 732 individus (43,78% d'abondance relative), les détritivores 651 individus (38,94% d'abondance relative), les racleurs 161 individus (9,63%



d'abondance relative), les brouteurs/déchetteurs 69 individus (4,13% d'abondance relative) et les filtreurs 59 individus (3,53% d'abondance relative).

En terme de richesse spécifique, la Figure 50B montre la diversité en nombre de famille des différents groupes trophiques.

Ainsi dans le Métyi, les prédateurs dénombrent 9 familles (28,13% d'abondance relative), les détritivores 8 familles (25,00% d'abondance relative), les racleurs 7 familles (21,88% d'abondance relative), les brouteurs/déchetteurs 6 familles (18,75% d'abondance relative) et les filtreurs 2 famille (6,25% d'abondance relative). Dans le Bengo, on peut noter les prédateurs 13 familles (32,50% d'abondance relative), les détritivores ainsi que les racleurs chacun 10 familles (25,00% d'abondance relative), les brouteurs/déchetteurs 5 familles (12,50% d'abondance relative) et les filtreurs 2 familles (5,00% d'abondance relative). Dans le Sounou, les prédateurs occupent toujours la pole position avec 14 familles (34,15% d'abondance relative), suivi des détritivores 10 familles (24,39% d'abondance relative), ensuite les racleurs 8 familles (19,51% d'abondance relative), les brouteurs/déchetteurs 6 familles (14,63% d'abondance relative) et enfin les filtreurs 3 familles (7,32% d'abondance relative). Dans le Lo'o, on constate également que les prédateurs sont les plus diversifiés avec 14 familles (31,82% d'abondance relative), suivi des détritivores avec 12 familles (27,28% d'abondance relative), après ce sont les racleurs avec 8 familles (18,18% d'abondance relative), ensuite les brouteurs/déchetteurs 7 familles (15,91% d'abondance relative) et enfin les filtreurs 3 familles (6,82% d'abondance relative).

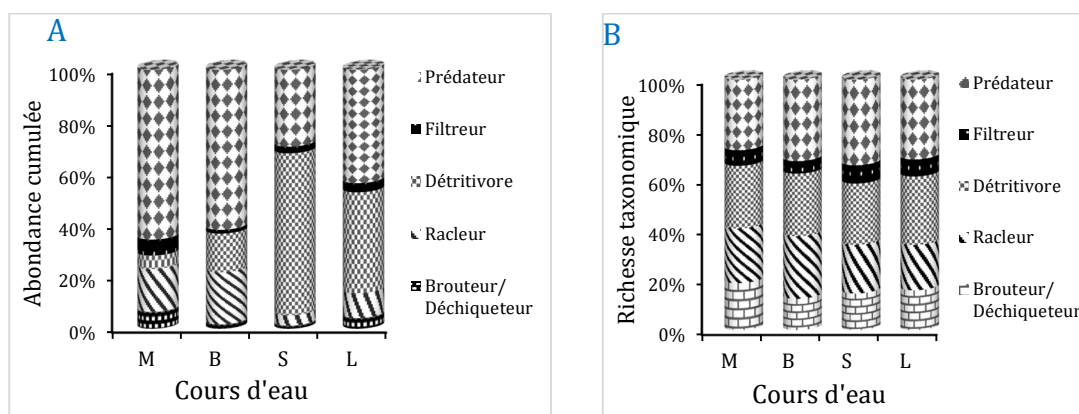


Figure 50 : Variation spatiale de l'abondance relative (A) ainsi que la richesse taxonomique (B) des différents groupes trophiques identifiés dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude

### III.1.3.8- Caractérisation biologique des différents cours d'eau

#### III.1.3.8.1- Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)

La hiérarchisation des stations d'étude sur la base des variables biologiques a défini trois groupes distincts sur la base de leurs similarités. Le groupe I composé des stations M1 et M2 et qui se caractérisent par les genres Ephemera, Hydropsyche, Derallus, Cylindrostethus, Somatochlora, Sympetrum, Laccophilus, Naucoris, Gerrisella, Gerris. Le groupe II composé des stations B1, B2, B3, M3 et L3 lesquelles se définissent par les genres Notonecta, Orectogyrus, Hydrometra et Hynesionella. Enfin le groupe III constitué des stations S1, S2, S3, L1 et L2 qui se caractérisent par les genres Sympetrum, Tenagogonus, Adenophlebia, Macromia, Calopteryx, Thraulius, Orthetrum, Sudanaute, Caridina, Macrobrachium, Rhagovelia, Libellula (Figure 51).

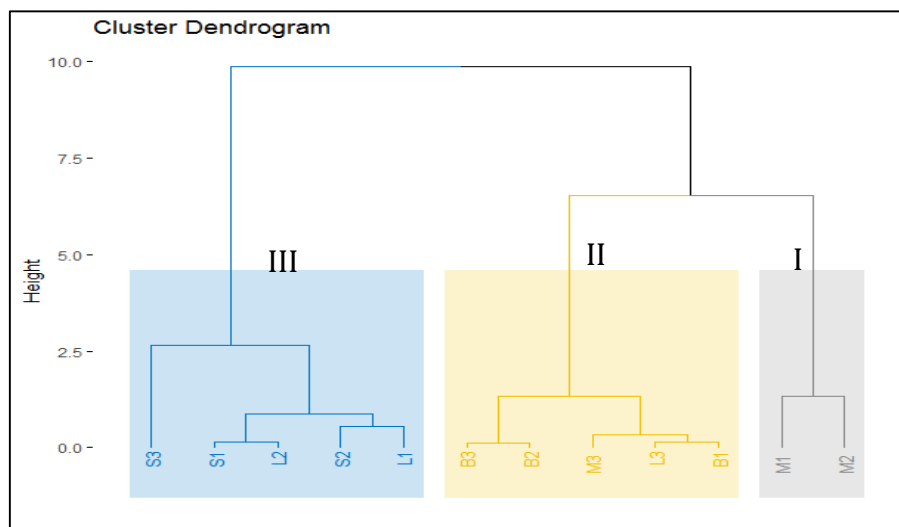


Figure 51 : Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des stations d'échantillonnage réalisée à partir des taxons de MIB récoltés dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude.

#### III.1.3.8.2- Analyse Canonique de Correspondance (ACC)

Afin de mettre en évidence l'influence des paramètres environnementaux sur la dynamique des principaux taxons de MIB des différents cours d'eau étudiés, une Analyse Canonique de Correspondance (ACC) a été réalisée. L'analyse a concerné uniquement les taxons constants, réguliers et omniprésents. La Figure 52 présente les résultats relatifs aux quatre cours d'eau étudiés.

Les deux premiers axes utilisés pour l'expression des résultats cumulent plus de la moitié des informations soit 64,2 % (Figure 52) L'axe 1 de l'ACC qui cumule 38,52% d'informations isole dans sa partie positive (F1>0) les stations S1, S2 et S3 ; L1 et L2 des

cours d'eau respectifs Sounou et Lo'o qui se caractérisent par la turbidité, l'alcalinité et l'oxygène dissous, le sable fin (SF), sables grossier (SG) et granulat. Dans sa partie négative ( $F1 < 0$ ), l'axe 1 isole les stations M1, M2 et M3 ; B1, B2 et B3 ; L3 des cours d'eau Métyi, Bengo et Lo'o respectivement. Ces stations sont définies par les variables telles que la température, pH, TDS, conductivité, MES, couleur, CO<sub>2</sub>, orthophosphates, nitrates, ammonium, oxydabilité et graviers. L'axe 2 avec 25,68 % d'informations isole dans sa partie positive ( $F2 > 0$ ) les stations M1 et M2 ; S1, S2 et S3 ; L2. Ces stations sont corrélées aux variables MES, couleur, turbidité, CO<sub>2</sub>, ammonium, oxydabilité, sable grossier (SG) granulat et gravier. Par contre dans sa partie négative ( $F2 < 0$ ), on retrouve les stations M3 ; B1, B2 et B3 ; L1 et L3 qui ont des affinités avec la température, le pH, l'oxygène dissous, TDS, conductivité, alcalinité, nitrates, orthophosphates et sable fin (SF).

La projection des taxons pris en compte sur les axes vectoriels des paramètres environnementaux (Figure 52), révèle que sur l'axe 1, les espèces *Macrobrachium sp*, *Caridina africana*, *Tenagobius albobittatus*, *Rhagovelia sp*, *Thraulius bellus*, *Orthetrum brunneum* et *Sympetrum depressiusculum* sont corrélées positivement à la turbidité, l'alcalinité, l'oxygène dissous, sable fin (SF), sable grossier (SG) et granulat. A l'opposé ( $F1 < 0$ ), *Hydrometra carayoni*, *Derallus sp*, *Cylindrostethus quadrivittatus*, *Orectogyrus sp*, *Laccophilus sp*, *Poissonia longifemorata*, *Ranatra linearis*, *Naucoris sp*, *Mesovelia furcata*, *Microvelia sp*, *Heptagenia sp*, *Ephemerella sensu*, *Hydropsyche sp* *Lestonogomphus angustus*, sont corrélées négativement à la température, pH, TDS, conductivité, MES, couleur, CO<sub>2</sub>, orthophosphates, nitrates, ammonium, oxydabilité et graviers. Sur l'axe 2 ( $F > 0$ ), *Caridina africana*, *Tenagobius albobittatus*, *Poissonia longifemorata*, *Tenagobius albobittatus*, *Naucoris sp*, *Laccophilus sp*, *Ephemerella sensu*, *Orthetrum brunneum*, *Sympetrum depressiusculum* et *Coenagrion sp*, sont corrélées positivement avec les MES, couleur, turbidité, CO<sub>2</sub>, ammonium, oxydabilité, sable grossier (SG), granulat et gravier. Par contre, pour  $F < 0$ , *Macrobrachium sp*, *Ranatra linearis*, *Hydrometra carayoni*, *Mesovelia furcata*, *Microvelia sp*, *Derallus sp*, *Orectogyrus sp*, *Heptagenia sp*, *Thraulius bellus* et *Lestonogomphus angustus* sont négativement corrélés avec la température, pH, TDS, conductivité, nitrates, orthophosphates et sable fin (SF).

Une analyse simultanée sur les deux axes montre que *Caridina africana*, *Tenagobius albobittatus*, *Orthetrum brunneum*, *Sympetrum depressiusculum*, la turbidité, sable grossier et granulat sont corrélées positivement sur les deux axes ( $F > 0$ ), alors que

*Ranatra linearis*, *Hydrometra carayoni*, *Mesovelvia furcata*, *Microvelia* sp, *Derallus* sp, *Orectogyrys* sp, *Heptagenia* sp, *Lestinogomphus angustus*, température, pH, TDS, conductivité, nitrates et orthophosphates sont corrélées négativement ( $F < 0$ ) aux deux axes.

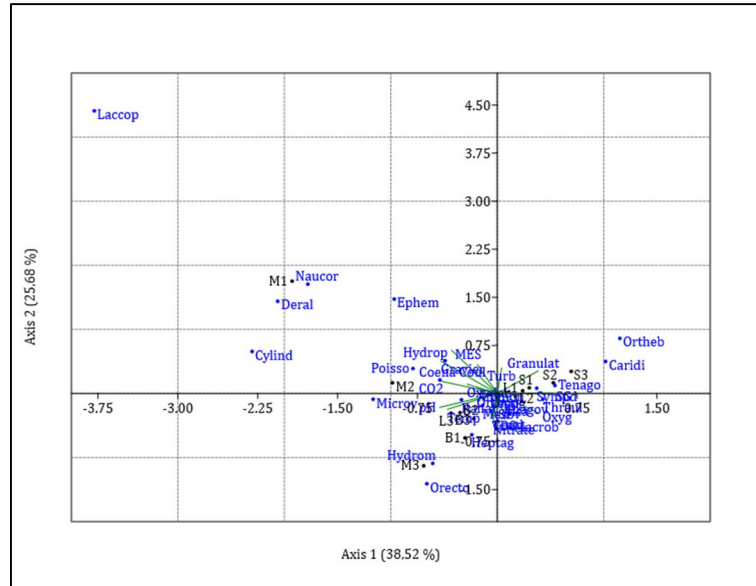


Figure 52 : L'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) des taxons Omniprésents, réguliers et constants des MIB avec les paramètres abiotiques. Macrobr = Macrobrachium sp. ; Caridi = Caridina africana ; Ranat = Ranatra linearis ; Poisso = Poissonia longifemorata ; Hydrom = Hydrometra carayoni ; Cylind = Cylindrostethus quadrivittatus ; Tenago = Tenagomonus albovittatus ; Rhagov = Rhagovelia sp. ; Mesov = Mesovelvia furcata ; Microv = Microvelia sp. ; Naucor = Naucoris sp. ; Deral = Derallus sp. ; Orecto = Orectogyrys sp. ; Laccop = Laccophilus sp. ; Heptag = Heptagenia sp. ; Ephem = Ephemera sensu ; Thraul = Thraulius bellus ; Hydrom = Hydropsyche sp. ; Lestig = Lestinogomphus angustus ; Ortheb = Orthetrum brunneum ; Sympd = Sympetrum depressiusculum ; Coena = Coenagrion sp. ; Temp = Température ; pH = potentiel d'Hydrogène ; Oxyg = Oxygène dissous ; TDS = Total Dissolved Solid ; Cond = Conductivité électrique ; MES = Matière en suspension ; Coul = Couleur ; Turb = Turbidité ; Alca = Alcalinité, CO2 = Gaz carbonique ; Nitrate ; Orthop = Orthophosphates ; Ammon = Ammonium ; Oxydab = Oxydabilité ; SF = Sable fin ; SG = Sable grossier ; Granulat ; Gravier.

### III.1.3.8.3-Analyse en Composante principale (ACP)

L'Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée à partir des taxons constants, réguliers et omniprésents, présente une carte factorielle dont les informations sont présentées sur les deux premières dimensions (45,4%). La dimension 1 regroupe 28,5% des informations globales tandis que la dimension 2 elle regroupe 16,9 % des informations totales (Figure 53A). Cette analyse a permis de regrouper les différentes stations en trois grands groupes (I, II et III) (Figure 53B). Le groupe I situé dans la partie

négative de la dimension 1 et la partie positive de la dimension 2, se compose des stations M1 et M2 du cours d'eau Métyi. Le groupe II est situé dans les parties négatives des dimensions 1 et 2, se compose des stations B1, B2, B3, M3 et L3 des cours d'eau Bengo, Métyi et Lo'o respectivement. Le groupe III lui est situé dans la partie positive de la dimension 1 ainsi que dans les parties négative et positive de la dimension 2, comporte les stations S1, S2, S3, L1 et L2 des cours d'eau Sounou et Lo'o respectivement (Figure 53B).

Les poids factoriels des variables biologiques prises en compte dans l'assemblage défini par l'ACP nous révèle que plus de la moitié des organismes sont corrélés aux deux premières dimensions (1 et 2). Ainsi, le groupe I constitué des stations M1 et M2 se caractérise par les organismes corrélés négativement sur la dimension 1 et positivement sur la dimension 2. Ces organismes ont des affinités élevées avec les variables chimiques prédominantes dans ces stations à l'instar de la couleur des eaux, la turbidité et l'oxydabilité. Les organismes qui définissent ce groupe sont les suivants : *Ephemerella sensu*, *Hydropsyche* sp, *Derallus* sp, *Cylindrostethus quadrivittatus*, *Somatochlora metallica*, *Sympetrum flaveolum*, *Sympetrum meridionale*, *Laccophilus* sp, *Naucoris* sp, *Gerrisella setembrinoi*, *Gerris* sp (Figure 53C).

Le groupe II constitué des stations B1, B2, B3, M3 et L3 regroupe des organismes corrélés négativement sur les dimensions 1 et 2. Ces organismes trouvent des conditions favorables à leur épanouissement dans ces stations à savoir conditions favorables de température, de pH, d'oxygénation, de TDS, de conductivité et de couleur. Les organismes caractéristiques de ce groupe sont : *Notonecta* sp, *Orectogyrus* sp, *Hydrometra carayoni*, *Hynesionnella omer-cooperi*.

Le groupe III quant à lui étant constitué de station S1, S2, S3, L1 et L2 regroupe des organismes qui sont corrélés positivement sur les deux dimensions (1 et 2) à l'exception de 3 organismes qui sont corrélés positivement sur la dimension 1 mais corrélés négativement sur la dimension 2. Les organismes qui s'épanouissent dans les conditions qu'offrent les stations de ce groupe III sont : *Sympetrum depressiusculum*, *Tenagogonus albovittatus*, *Adenophlebia* sp, *Macromia splendens*, *Calopteryx splendens*, *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Thraululus bellus*, *Orthetrum brunneum*, *Sudanaute aubryi*,

*Sudanaute africanus*, *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, *Rhagovelia* sp, *Libellula quadrimaculata* (Figure 53C).

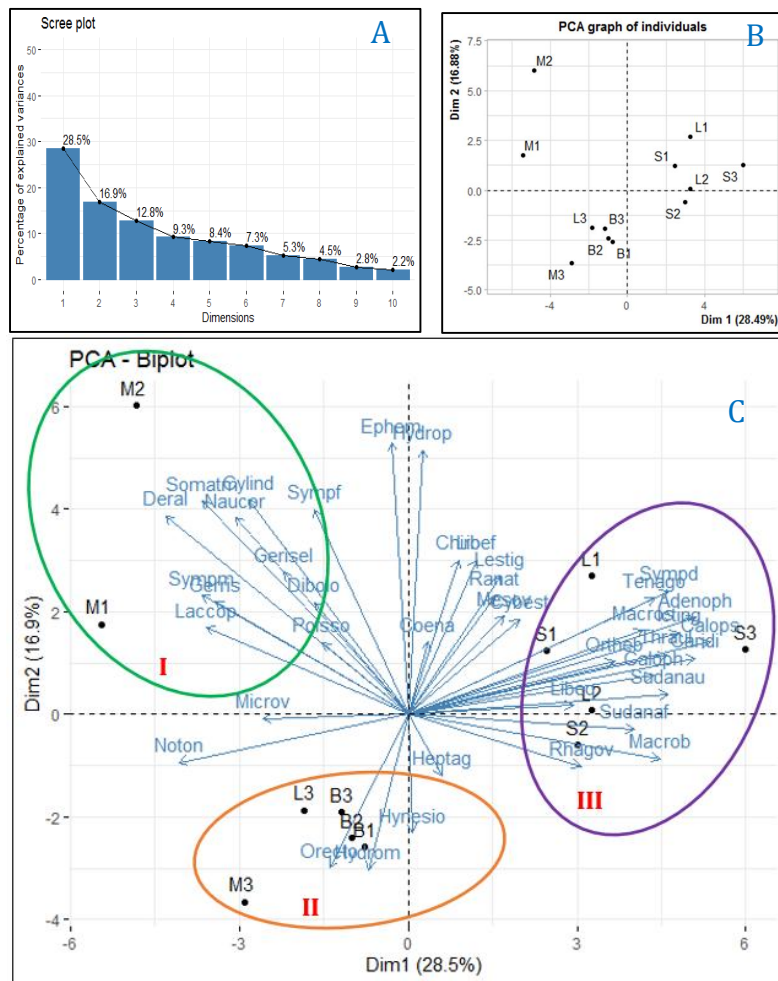


Figure 53 : Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée à partir des variables biologiques de l'ensemble du bassin, durant la période d'étude : A (Histogramme des valeurs propres), B (Corrélation entre les stations et les axes factoriels, C(Biplot). *Macrobr* = *Macrobrachium* sp ; *Caridi* = *Caridina africana* ; *Sudanau* = *Sudanonaute aubryi* ; *Sudanaf* = *Sudanaute africanus* ; *Ranat* = *Ranatra linearis* ; *Poisso* = *Poissonia longifemorata* ; *Hydrom* = *Hydrometra carayoni* ; *Gerris* = *Gerris* sp ; *Cylind* = *Cylindrostethus quadrivittatus* ; *Hynesio* = *Hynesionella omer-cooperi* ; *Tenago* = *Tenagogonus albiovittatus* ; *Gerisel* = *Gerrisella settembrinoi* ; *Rhagov* = *Rhagovelia* sp ; *Mesov* = *Mesovelvia furcata* ; *Microv* = *Microvelia* sp. ; *Naucor* = *Naucoris* sp ; *Noton* = *Notonecta* sp ; *Deral* = *Derallus* sp. = *Dibolo* = *Dibolocer* ; *Orecto* = *Orectogyrus* sp ; *Cybest* = *Cybester* sp ; *Laccop* = *Laccophilus* sp ; *Heptag* = *Heptagenia* sp. *Ephem* = *Ephemerella sensu* ; *Thraul* = *Thraul* bellus ; *Adenoph* = *Adenophlebia* sp. *Hydrop* = *Hydropsyche* sp ; *Lestig* = *Lestinogomphus angustus* ; *Icting* = *Ictinogomphus ferox* ; *Somatm* = *Somatochlora metallica* ; *Ortheb* = *Orthetrum brunneum* ; *Libeq* = *Libellula quadrimaculata* ; *Libef* = *Libellula fulva* ; *Sympm* = *Sympetrum meridionale* ; *Sympf* = *Sympetrum flaveolum* ; *Sympd* = *Sympetrum depressiusculum* ; *Macros* = *Macromia splendens* ; *Calops* = *Calopteryx splendens* ; *Caloph* = *Calopteryx haemorrhoidalis* ; *Coena* = *Coenagrion* sp ; *Chiro* = *Chironomus* sp.

### III.1.3.8.4- Self-Organizing Maps (SOM)

La biotypologie réalisée à partir de la matrice présence-absence a permis de hiérarchiser les 156 échantillons (13 campagnes x 12 stations) sur la base de l'abondance des taxons à chaque station et à chaque campagne. Le traitement des données par la Self-Organizing Maps (SOM) sur la base des valeurs minimales d'erreur topographique et de quantification a permis d'obtenir une carte de 72 cellules (8 lignes x 9 colonnes) où sont projetés les 156 échantillons.

La hiérarchisation des 72 cellules regroupées par affinité taxonomique a permis de distinguer 3 groupes d'échantillons selon la distance Euclidienne de 2,0. (Figure 54)

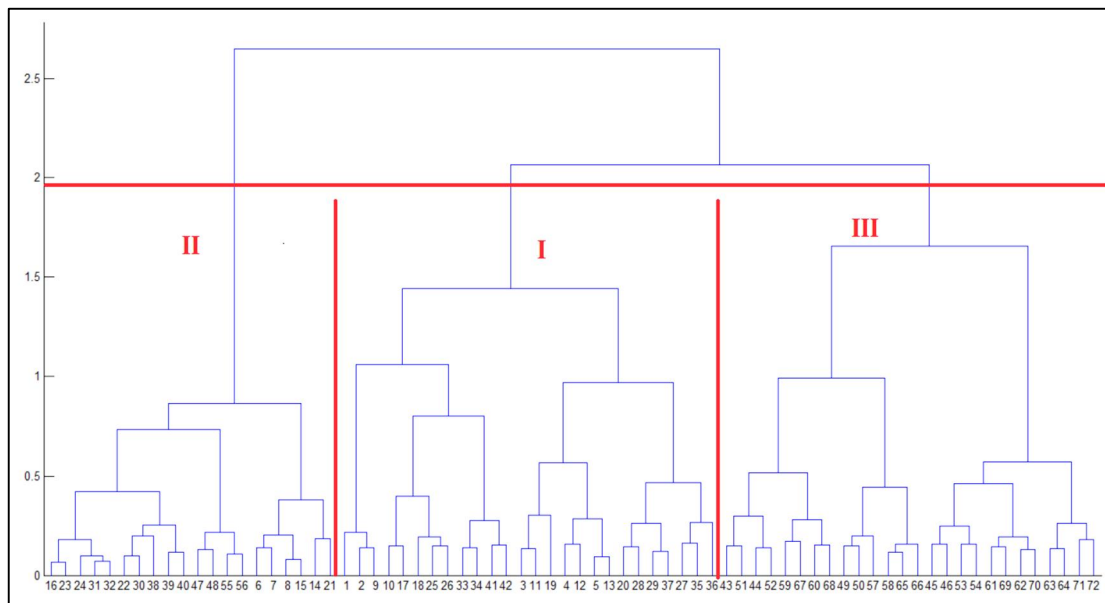


Figure 54 : Classification hiérarchique ascendante des 72 cellules et composition des 3 groupes de stations

La projection des chiffres du dendrogramme sur les cellules de la carte de Kohonen montre que le groupe I situé dans la partie supérieur gauche se compose de 26 cellules au sein desquelles sont logés 49 échantillons. Des 49 échantillons appartenant à ce groupe, 21 échantillons appartiennent à la grande saison sèche, 11 échantillons se rapportent à la petite saison sèche, 5 échantillons sont de la petite saison de pluie et 12 échantillons appartiennent à la grande saison de pluie (figures 55A et B).

Le groupe II situé dans partie inférieur droite juste en dessous du groupe I, compte 20 cellules rassemblant 61 échantillons. Ces échantillons sont constitués de 17



échantillons pour la grande saison sèche, 17 échantillons pour la petite saison de pluie, 2 échantillons de la petite saison de pluie et 25 échantillons de la grande saison de pluie.

Le groupe III lui se définit avec 46 échantillons rassemblés dans 26 cellules. Sur les 46 échantillons de ce groupe, 13 échantillons sont de la grande saison sèche, 20 échantillons sont issus de la petite saison sèche, 5 échantillons de la petite saison de pluie et 8 échantillons sont de la grande saison de pluie (Figure 55A et B).

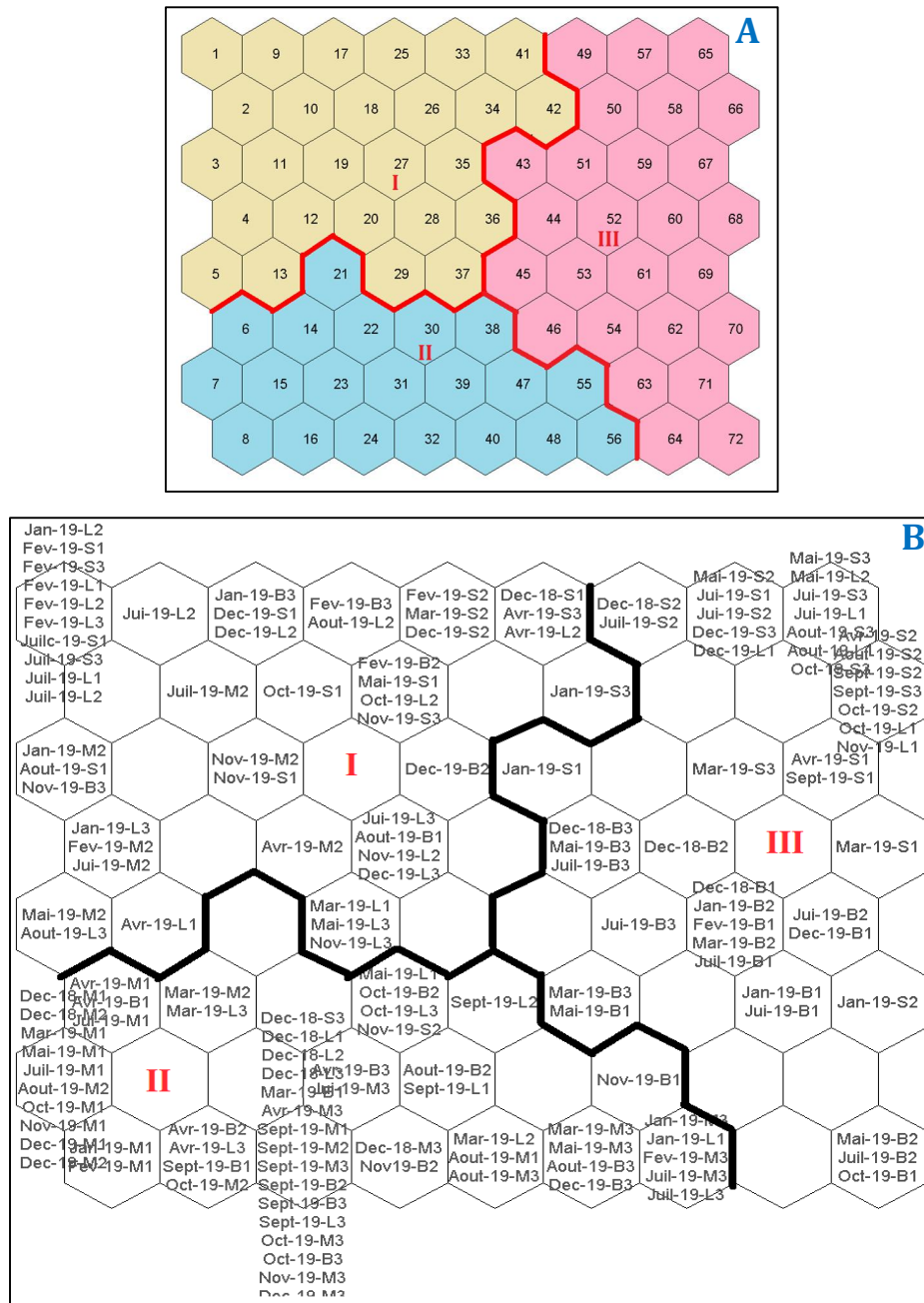


Figure 55 : Répartition des échantillons sur la carte de Kohonen à partir de la composition taxonomique



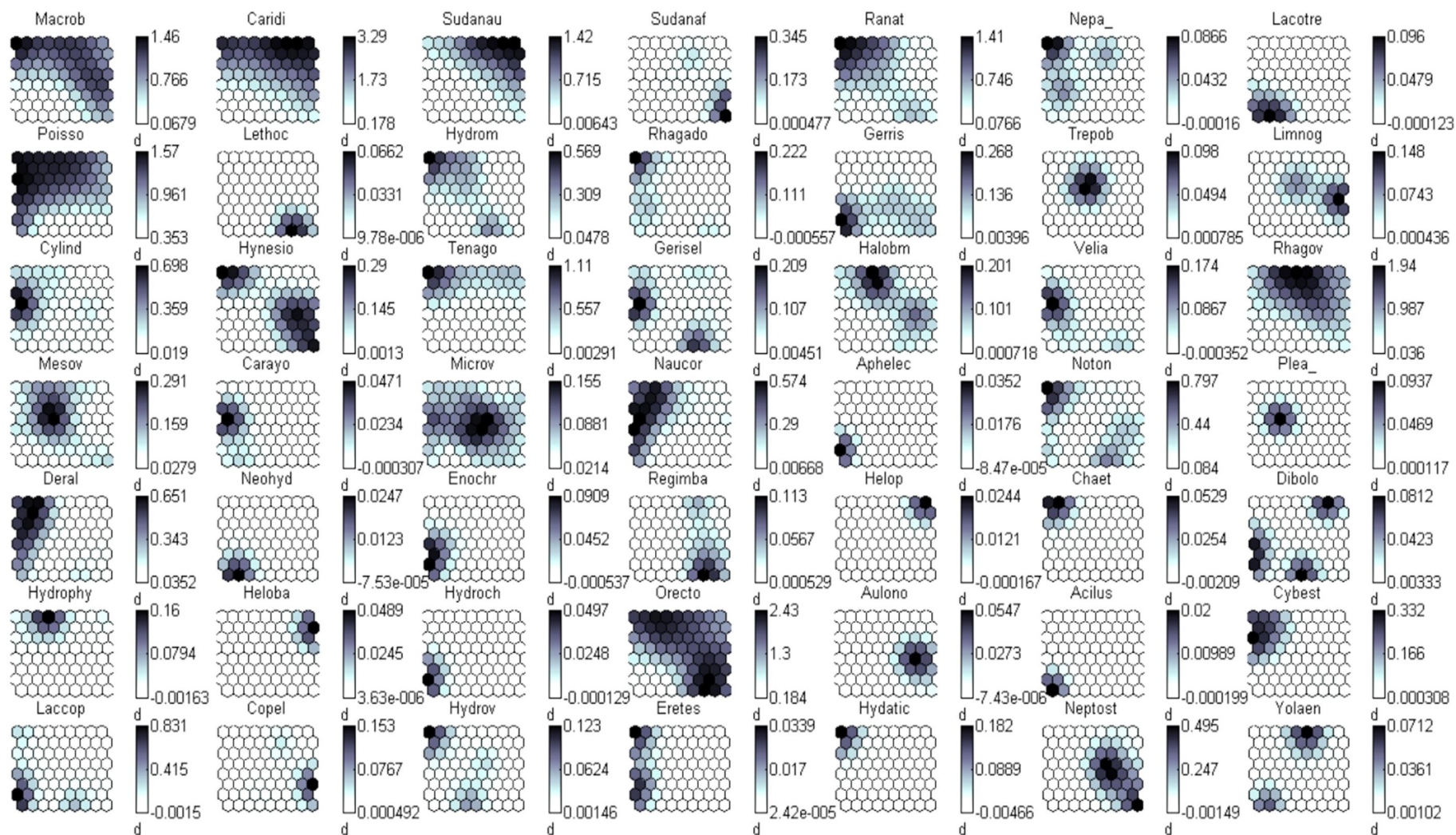


Figure 56 : Profil de distribution des taxons dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude

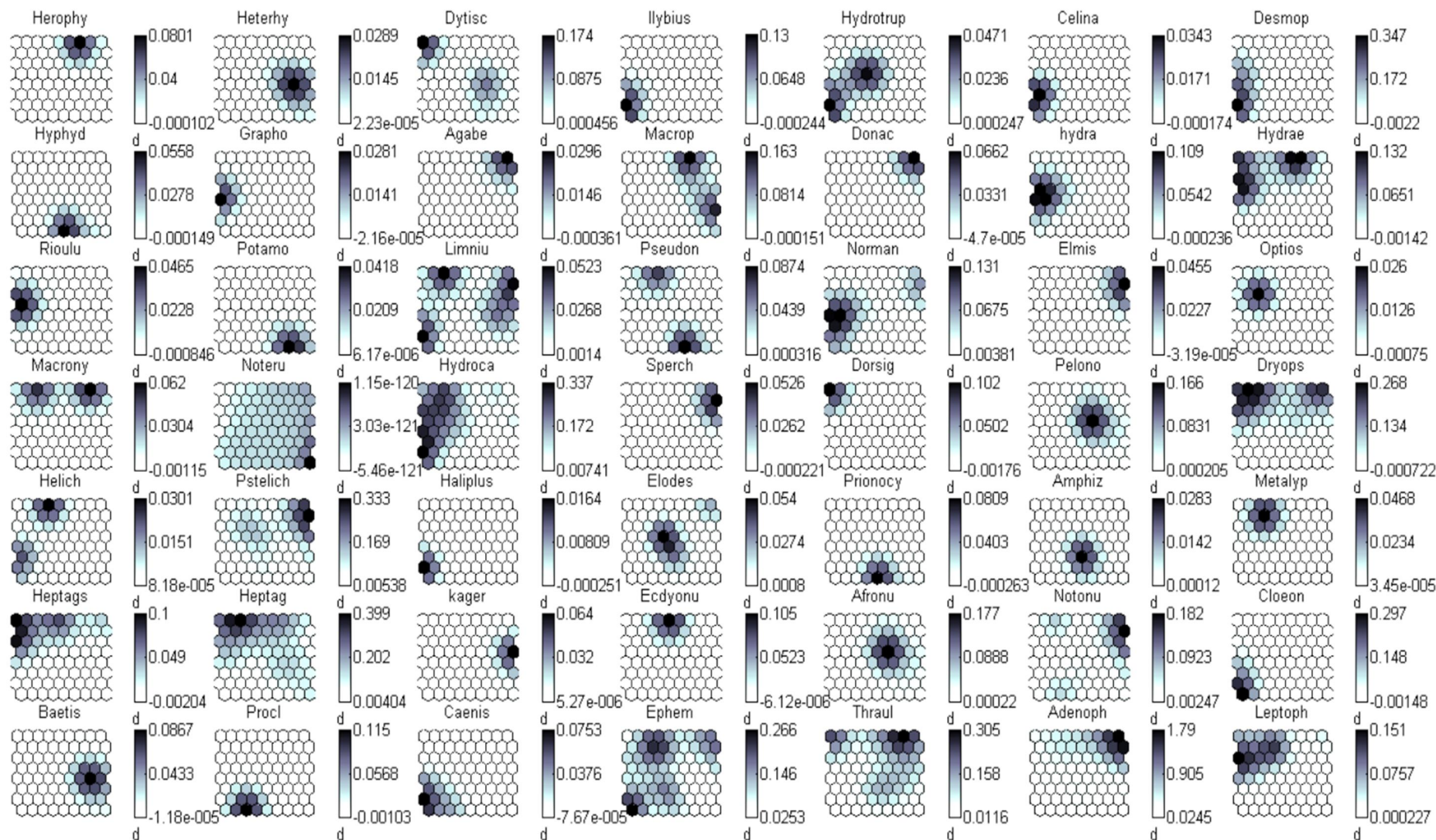


Figure 52 : Profil de distribution des taxons dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (suite)



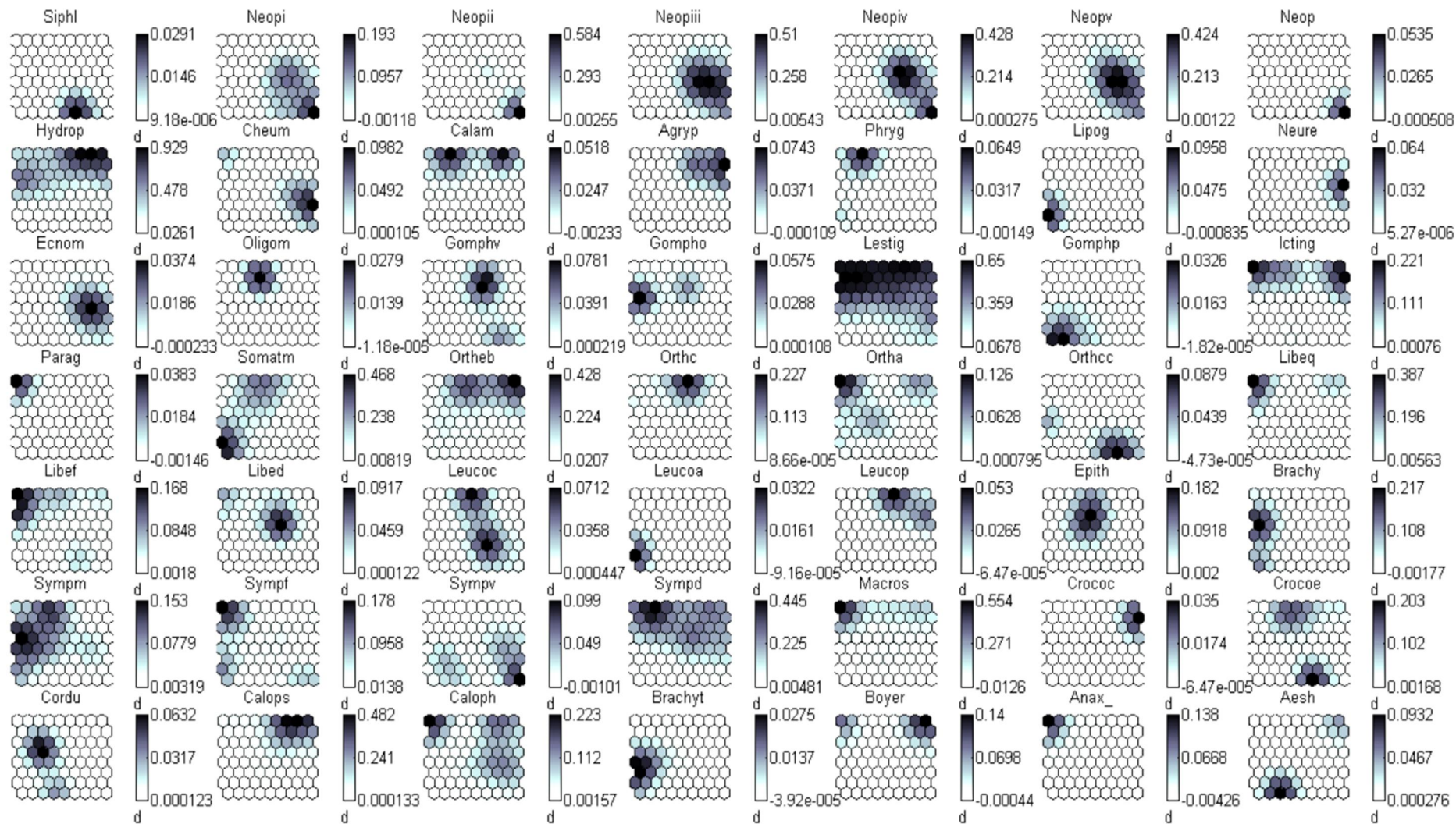


Figure 52 : Profil de distribution des taxons dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (suite)

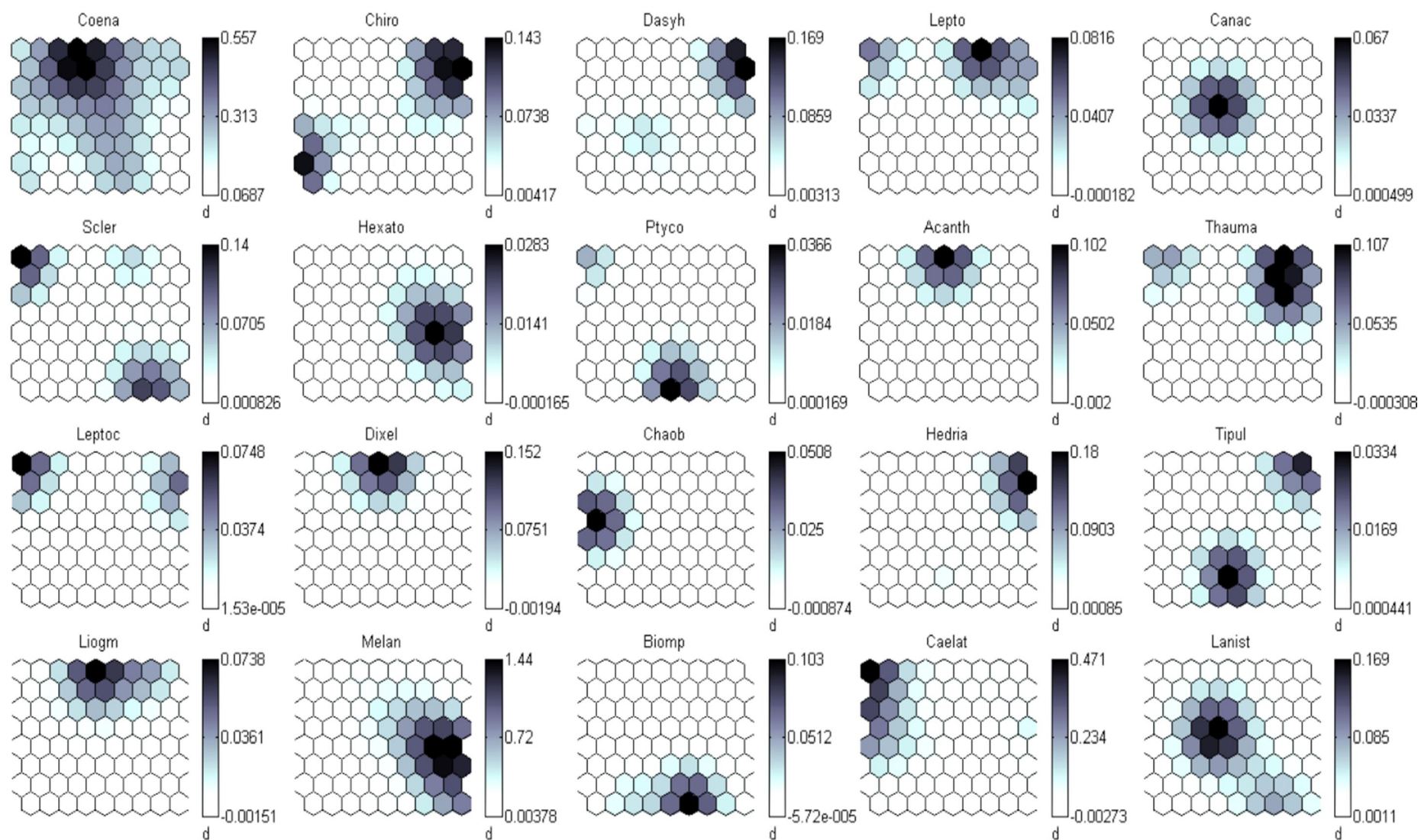


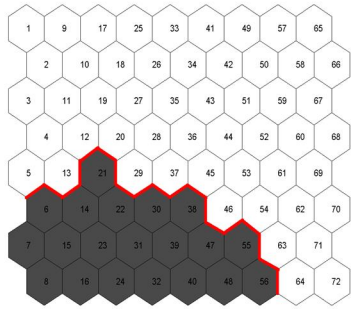
Figure 52 : Profil de distribution des taxons dans les différents cours d'eau pendant la période d'étude (suite et fin)



Tableau XII : Composition taxonomique des groupes definis par la SOM

Groupe I	
	<p><i>Macrobrachium</i>, <i>Caridina africana</i>, <i>Sudanaute aubryi</i>, <i>Sudanaute africanus</i>, <i>Ranatra linearis</i>, <i>Nepa</i> sp, <i>Poissonia longifemorata</i>, <i>Hydrometra carayoni</i>, <i>Rhagadotarsus hutchinsoni</i>, <i>Gerris</i>, <i>Trepobates</i> sp, <i>Limnogonus</i> sp, <i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>, <i>Hynesionella omer-cooperi</i>, <i>Tenagogonus albobittatus</i>, <i>Gerrisella settembrinoi</i>, <i>Halobates micans</i>, <i>Velia</i>, <i>Rhagovelia</i>, <i>Mesovelia furcata</i>, <i>Carayonella hutchinsoni</i>, <i>Microvelia</i> sp, <i>Naucoris</i>, <i>Notonecta</i> sp, <i>Plea</i> sp, <i>Derallus</i> sp,</p>
<p><i>Enochrus</i>, <i>Regimbartia</i> sp, <i>Helophorus</i> sp, <i>Dibolocerus</i>, <i>Hydrophilus senegalensis</i>, <i>Hydrochara</i> sp, <i>Orectogyrus</i>, <i>Cybester</i>, <i>Laccophilus</i>, <i>Copelatus erichsoni</i>, <i>Hydrovatus senegalensis</i>, <i>Eretes</i>, <i>Hydaticus exclamationis</i>, <i>Neptosternus tricuspis</i>, <i>Yola enigmatica</i>, <i>Herophydrus guineensis</i>, <i>Dytiscicus</i>, <i>Ilybius</i> sp, <i>Hydrotrupes</i> sp, <i>Celina</i> sp, <i>Desmopachria</i> sp, <i>Graphoderus</i>, <i>Macroplea</i>, <i>Hydraenopsis ripae</i>, <i>Hydraena</i>, <i>Rioulus</i>, <i>Limnius</i>, <i>Pseudoncyronyx</i>, <i>Normandia</i>, <i>Optioservus</i> sp, <i>Macronychus</i> sp, <i>Noterus</i>, <i>Hydrocanthus</i> sp, <i>Dorsiger</i> sp, <i>Pelonomus</i> sp, <i>Dryops</i> sp, <i>Helichus</i>, <i>Postelichus</i> sp, <i>Haliplus</i> sp, <i>Elodes</i> sp, <i>Amphizoa</i>, <i>Metalype fragilis</i>, <i>Heptagenia sulphurea</i>, <i>Heptagenia</i> sp, <i>Ecdyonurus</i> sp, <i>Afronurus</i> sp, <i>Notonurus</i> sp, <i>Cloeon</i> sp, <i>Caenis</i>, <i>Ephemerella sensu</i>, <i>Thraululus bellus</i>, <i>Adenophlebia</i> sp, <i>Leptophlebia</i> sp, <i>Neoperla</i> sp1, <i>Neoperla</i> sp3., <i>Neoperla</i> sp4, <i>Neoperla</i> sp5, <i>Hydropsyche</i> sp, <i>Cheumatopsyche lepida</i>, <i>Calamoceras</i> sp, <i>Agrypia crassicornis</i>, <i>Phryganea</i> sp, <i>Lipogomphus</i> sp, <i>Ecnomus</i> sp, <i>Oligoplectrum maculatum</i>, <i>Gomphus vulgatissimus</i>, <i>Gomphus onychogomphus</i>, <i>Lestinogomphus angustus</i>, <i>Gomphus pulchelus</i>, <i>Ictinogomphus ferox</i>, <i>Paragomphus genei</i>, <i>Somatochlora metallica</i>, <i>Orthetrum brunneum</i>, <i>Orthetrum caerulescens</i>, <i>Orthetrum albistylum</i>, <i>Orthetrum cancellatum</i>, <i>Libellula quadrimaculata</i>, <i>Libellula fulva</i>, <i>Libellula depressa</i>, <i>Leucorrhinia caudalis</i>, <i>Leucorrhinia albifrons</i>, <i>Leucorrhinia pectoralis</i>, <i>Epitheca bimaculata</i>, <i>Brachythemis leucosticta</i>, <i>Sympetrum meridionale</i>, <i>Sympetrum flaveolum</i>, <i>Sympetrum vulgatum</i>, <i>Sympetrum depressiusculum</i>, <i>Macromia splendens</i>, <i>Crocothemis erythraca</i>, <i>Cordulia aenea</i>, <i>Calopteryx splendens</i>, <i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>, <i>Brachytron pratense</i>, <i>Boyeria Irene</i>, <i>Anax imperator</i>, <i>Coenagrion</i> sp, <i>Chironomus</i> sp, <i>Dasyheleina</i> sp, <i>Leptoconops</i> sp, <i>Canace macateei</i>, <i>Scleroprocta</i> sp, <i>Hexatomini</i>, <i>Ptycoptera</i> sp, <i>Acanthocnema</i>, <i>Thaumalea</i>, <i>Leptoconopinae</i>, <i>Dixella</i>, <i>Chaoborus</i> sp, <i>Tipula furca</i>, <i>Liogma nodicornis</i>, <i>Melania tuberculata</i>, <i>caelatura aegyptica</i>, <i>Lanistes adansoni</i></p>	

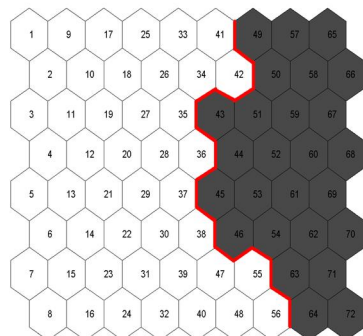
## Groupe II



*Macrobrachium* sp, *Caridina africana*, *Ranatra linearis*, *Nepa* sp, *Laccotrephes* sp, *Poissonia longifemorata*, *Lethocerus* sp, *Hydrometra carayoni*, *Rhagadotarsus hutchinsoni*, *Gerris* sp, *Trepobates* sp, *Limnogonus* sp, *Cylindrostethus quadrivittatus*, *Hynesionella omer-cooperi*, *Gerrisella settembrinoi*, *Halobates micans*, *Velia* sp, *Rhagovelia* sp, *Mesovelia furcata*, *Carayonella hutchinsoni*, *Microvelia* sp, *Naucoris* sp, *Aphelecheirus* sp, *Notonecta* sp, *Plea* sp, *Derallus* sp, *Neohydrophilus* sp, *Enochrus* sp, *Regimbartia* sp,

*Dibolocerus*, *Hydrochara* sp, *Orectogyrus*, *Acilus*, *Laccophilus*, *Copelatus erichsoni*, *Hydrovatus senegalensis*, *Eretes*, *Neptosternus tricuspis*, *Yola enigmática*, *Dytiscicus*, *Ilybius* sp, *Hydrotrupes* sp, *Celina* sp, *Desmopachria* sp, *Hyphydrus* sp, *Graphoderus*, *Hydraenopsis ripae*, *Rioulus*, *Potamophilus*, *Limnius*, *Pseudoncyronyx*, *Normandia*, *Noterus*, *Hydrocanthus* sp, *Helichus*, *Postelichus* sp, *Haliphus* sp, *Elodes* sp, *Prionocyphon*, *Amphizoa*, *Heptagenia* sp, *Afronurus* sp, *Notonurus* sp, *Cloeon* sp, *Baetis* sp, *Procleon* sp, *Caenis*, *Ephemerella sensu*, *Thraulius bellus*, *Leptophlebia* sp, *Siphonuris* sp, *Neoperla* sp1, *Neoperla* sp2, *Neoperla* sp3, *Neoperla* sp4, *Neoperla* sp5, *Hydropsyche* sp, *Cheumatopsyche lepida*, *Phryganea* sp, *Lipogomphus* sp, *Ecnomus* sp, *Gomphus vulgatissimus*, *Gomphus onychogomphus*, *Lestinogomphus angustus*, *Gomphus pulchelus*, *Somatochlora metallica*, *Orthetrum brunneum*, *Orthetrum albistylum*, *Orthetrum cancellatum*, *Libellula fulva*, *Leucorrhinia caudalis*, *Leucorrhinia albifrons*, *Epithea bimaculata*, *Brachythemis leucosticta*, *Sympetrum meridionale*, *Sympetrum flaveolum*, *Sympetrum vulgatum*, *Sympetrum depressiusculum*, *Crocothemis erythraca*, *Cordulia aenea*, *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Brachytron pratense*, *Aeshnia cyanea*, *Coenagrion* sp, *Chironomus* sp, *Dasyheleina* sp, *Canace macateeii*, *Scleroprocta* sp, *Hexatomini*, *Ptycoptera* sp, *Chaoborus* sp, *Hedria mixta*, *Tipula furca*, *Melania tuberculata*, *Biomphalaria* sp, *Caelatura aegyptica*, *Lanistes adansoni*

## Groupe III



*Macrobrachium*, *Caridina africana*, *Sudanaute aubryi*, *Sudanaute africanus*, *Ranatra linearis*, *Nepa* sp, *Laccotrephes* sp, *Poissonia longifemorata*, *Lethocerus*, *Hydrometra carayoni*, *Rhagadotarsus hutchinsoni*, *Gerris*, *Trepobates* sp, *Limnogonus* sp, *Cylindrostethus quadrivittatus*, *Hynesionella omer-cooperi*, *Tenagogonus albivittatus*, *Gerrisella settembrinoi*, *Halobates micans*, *Velia*, *Rhagovelia*, *Mesovelia furcata*, *Microvelia* sp, *Naucoris*, *Notonecta* sp, *Derallus* sp, *Regimbartia* sp, *Chaetarthria* sp,

*Dibolocerus, Hydrophilus senegalensis, Helobata sp, Orectogyrus, Aulonogyrus, Copelatus erichsoni, Hydrovatus senegalensis, Neptosternus tricuspis, Yola enigmatica, Herophydrus guineensis, Heterhydrus senegalensis, Dytiscicus, Hydrotrupes sp, Hyphydrus sp, Agabetes sp, Macroplea, Donacia, Hydraena, Potamophilus, Limnius, Pseudoncyronyx, Normandia, Elmis, Macronychus sp, Noterus, Hydrocanthus sp, Spercheus, Pelonomus sp, Dryops sp, Postelichus sp, Elodes sp, Amphizoa, Heptagenia sulphurea, Heptagenia sp, Kageronia fuscogrisea, Ecdyonurus sp, Afronurus sp, Notonurus sp, Baetis sp, Ephemerella sensu, Thraulius bellus, Adenophlebia sp, Leptophlebia sp, Siphonuris sp, Neoperla sp1, Neoperla sp2, Neoperla sp3, Neoperla sp4, Neoperla sp5, Neoperla sp0, Hydropsyche sp, Cheumatopsyche lepida, Calamoceras sp, Agrypia crassicornis, Neureclipsis sp, Ecnomus sp, Gomphus vulgatissimus, Gomphus onychogomphus, Lestinogomphus angustus, Ictinogomphus ferox, Somatochlora metallica, Orthetrum brunneum, Orthetrum caerulescens, Orthetrum albistylum, Orthetrum cancellatum, Libellula quadrimaculata, Libellula fulva, Libellula depressa, Leucorrhinia caudalis, Leucorrhinia pectoralis, Epithea bimaculata, Sympetrum meridionale, Sympetrum flaveolum, Sympetrum vulgatum, Sympetrum depressiusculum, Macromia splendens, Crocothemis caudalis, Crocothemis erythraca, Calopteryx splendens, Calopteryx haemorrhoidalis, Boyeria irene, Aeshnia cyanea, Coenagrion sp, Chironomus sp, Dasyheleina sp, Leptoconops sp, Canace macateei, Scleroprocta sp, Hexatomi, Ptycoptera sp, Acanthocnema, Thaumalea, Leptoconopinae, Dixella, Hedria mixta, Tipula furca, Liogma nodicornis, Melania tuberculata, Biomphalaria sp, Caelatura aegyptica, Lanistes adansoni*

### III.1.3.8.5- Identification des taxons indicateurs par la méthode Individual Value (IndVal)

La méthode IndVal appliquée aux organismes biologiques nous montre que sur les 167 taxons pris en compte, nous avons 39 taxons indicateurs significatifs donc 22 taxons sont indicateurs d'un groupe (GI, GII et GIII) et 17 taxons indicateurs des combinaisons de groupe (GI+GII, GI+GIII et GI+GIII).

Au niveau du GI, 9 taxons donc la valeur IndVal varie de 28,6% à 79,5% ont été définis comme étant des indicateurs significatifs des conditions de ce groupe. Il s'agit de 5 taxons appartenant à l'ordre des Hétéroptères (*Ranatra linearis*, *Naucoris* sp, *Hydrometra carayoni*, *Cylindrostethus quadrivittatus* et *Mesovelina furcata*), 2 taxons appartenant à l'ordre des Odonates (*Orthetrum caerulescens* et *Epithea bimaculata*), 1 taxon appartenant à l'ordre des Coléoptères (*Cybester* sp) et 1 taxon appartenant à l'ordre des Eulamellibranches (*caelatura aegyptica*). Le taxon le plus indicateur de ce groupe (GI) est l'Hétéroptère *Ranatra linearis* (Indval = 79,5% ; A= 73,7% et B= 85,7%). Avec une forte spécificité (A= 100%) couplée à une très faible fidélité (B= 8,16%), les Odonates

*Orthetrum caerulescens* et *Epithea bimaculata* sont les taxons les moins indicateurs du groupe (IndVal = 28,6%) (Tableau XV).

Au niveau du GII, seuls 2 taxons appartenant à l'ordre des Hétéroptères ont été définis comme étant indicateurs significatifs. Il s'agit de *Gerris* sp (IndVal = 36,6%) et *Laccotrephes* sp (IndVal = 25,8%) (Tableau XV).

Au niveau du GIII, 11 taxons donc la valeur IndVal varie de 25,3% à 55,8% ont été définis comme indicateurs significatifs des conditions du milieu. Il s'agit de 5 taxons de l'ordre des Plécoptères (*Neoperla* sp1, sp2, sp3, sp4 et sp5), 3 taxons de l'ordre des Odonates (*Calopteryx splendens*, *Boyeria irene* et *Macrolea* sp), 1 taxon pour chacun des ordres suivants : Ephéméroptères (*Adenophlebia* sp), Coléoptères (*Neptosternus tricuspis*), et Eulamellibranches (*Melania tuberculata*). Le taxon le plus indicateur du GIII est *Adenophlebia* sp (Indval = 55,8% ; A= 73,07%, B= 42,55%) tandis que le taxons le moins indicateur malgré sa très forte spécificité (A = 100%) est *Macrolea* sp (IndVal = 25,3%) (Tableau XV).

La combinaison des organismes appartenant aux groupes I et II (GI + GII), nous laisse identifier 3 taxons indicateurs significatifs appartenant aux ordres des Coléoptères (*Derallus* sp), Hétéroptères (*Laccophilus* sp) et Odonates (*Somatochlora metallica*). La valeur IndVal de ces taxons varie de 37,9% à 47,3%. Les taxons de cette combinaison ont de fortes valeurs de la spécificité mais avec de très faibles valeurs de fidélité (Tableau XVI).

La fusion des GI + GIII, fait apparaitre 14 taxons indicateurs donc la valeur IndVal évolue de 32,3% à 96,2%. Ces taxons appartiennent aux ordres des Décapodes (*Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, *Sudanonaute aubryi*), des Hétéroptères (*Rhagovelia* sp, *Hynesionella omer-cooperi*, *Tenagogonus albovittatus*), des Odonates (*Lestinogomphus angustus*, *Sympetrum depressiusculum*, *Orthetrum brunneum*, *Ictinogomphus ferox*, *Macromia splendens*), des Ephéméroptères (*Heptagenia* sp), des Trichoptères (*Hydropsyche* sp) et des Coléoptères (*Dryops* sp). Quatre taxons ont une valeur IndVal  $\geq$  70, 0% (il s'agit *Caridina africana* (IndVal = 96,2% ; A= 98,77% et B= 93,75%), *Macrobrachium* sp (IndVal = 88,0% ; A= 96,4% et B= 80,2%), *Rhagovelia* sp (Indval = 80,7% ; A= 96,1% et B= 67,7%), *Sudanonaute aubryi* (IndVal = 74,5% ; A= 98,5% et B= 56,2%) (Tableau XVI).



Il est important de noter que la combinaison GII + GIII, présente 7 taxons indicateurs potentiels. Mais malheureusement, aucun taxon n'a un "p value" significatif et par conséquent, ne peut être considéré comme indicateur des conditions qui règnent dans ces deux groupes.

Tableau XIII : Valeur indicatrice (IndVal) des taxons

<b>Group GI (9 espèces)</b>					
<b>Taxons</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>P value</b>	<b>sig</b>
<i>Ranatra linearis</i>	0,73704	0,85714	0,795	0,001	***
<i>Naucoris sp</i>	0,64353	0,42857	0,525	0,001	***
<i>Hydrometra carayoni</i>	0,61105	0,38776	0,487	0,006	**
<i>Cybestera sp</i>	0,93628	0,20408	0,437	0,001	***
<i>caelatura aegyptica</i>	0,88380	0,20408	0,425	0,002	**
<i>Cylindrostethus quadrivittatus</i>	0,85672	0,20408	0,418	0,015	*
<i>Mesovelgia furcata</i>	0,70763	0,24490	0,416	0,003	**
<i>Orthetrum caerulescens</i>	1,00000	0,08163	0,286	0,015	*
<i>Epitheca bimaculata</i>	1,00000	0,08163	0,286	0,019	*
<b>Group GII (2 espèces)</b>					
<i>Gerris sp</i>	0,891	0,15000	0,366	0,007	**
<i>Laccotrephes sp</i>	1,000	0,06667	0,258	0,038	*
<b>Group GIII (11 espèces)</b>					
<i>Adenophlebia sp</i>	0,73079	0,42553	0,558	0,001	***
<i>Melania tuberculata</i>	0,91632	0,29787	0,522	0,001	***
<i>Neoperla sp3</i>	0,91988	0,27660	0,504	0,001	***
<i>Neoperla sp4</i>	0,93231	0,21277	0,445	0,001	***
<i>Neoperla sp5</i>	0,92957	0,21277	0,445	0,001	***
<i>Calopteryx splendens</i>	0,73354	0,25532	0,433	0,002	**
<i>Neptosternus tricuspis</i>	0,95830	0,19149	0,428	0,001	***
<i>Neoperla sp1</i>	0,91993	0,12766	0,343	0,002	**
<i>Neoperla sp2</i>	0,85588	0,12766	0,331	0,005	**
<i>Boyeria irene</i>	0,83904	0,08511	0,267	0,027	*
<i>Macrolea sp</i>	1,00000	0,06383	0,253	0,026	*

A=Spécificité, B=Fidélité, Sig. = Niveau de significativité

Codes de significativité : 0 `\*\*\*\*' 0,001 `\*\*\*' 0,01 `\*' 0,05 `.' 0,1 `ns ' 1 ; IndVal ≥ 0,250

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

<b>Group GI+GII (3 espèces)</b>					
<b>Taxons</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>IndVal</b>	<b>p.value</b>	<b>sig</b>
<i>Derallus</i> sp	0.9050	0.2477	0.473	0.013	*
<i>Laccophilus</i> sp	0.9366	0.1835	0.415	0.034	*
<i>Somatochlora metallica</i>	0.9791	0.1468	0.379	0.039	*
<b>Group GI+GIII (14 espèces)</b>					
<i>Caridina africana</i>	0.9877	0.9375	0.962	0.001	***
<i>Macrobrachium</i> sp	0.9649	0.8021	0.880	0.001	***
<i>Rhagovelia</i> sp	0.9616	0.6771	0.807	0.001	***
<i>Sudanonaute aubryi</i>	0.9857	0.5625	0.745	0.001	***
<i>Lestinogomphus angustus</i>	0.9325	0.5104	0.690	0.001	***
<i>Tenagogonus albovittatus</i>	0.9830	0.3542	0.590	0.001	***
<i>Hydropsyche</i> sp	0.9774	0.2917	0.534	0.001	***
<i>Sympetrum depressiusculum</i>	0.9642	0.2188	0.459	0.001	***
<i>Heptagenia</i> sp	1.0000	0.1667	0.408	0.006	**
<i>Orthetrum brunneum</i>	0.9130	0.1771	0.402	0.044	*
<i>Macromia splendens</i>	0.9631	0.1458	0.375	0.008	**
<i>Hynesionella omer-cooperi</i>	0.9442	0.1354	0.358	0.027	*
<i>Ictinogomphus ferox</i>	0.9633	0.1250	0.347	0.027	*
<i>Dryops</i> sp	1.0000	0.1042	0.323	0.022	*

A=Spécificité, B=Fidélité, Sig. = Niveau de significativité

Codes de significativité: 0 `\*\*\*' 0,001 `\*\*' 0,01 `\*' 0,05 `.' 0,1 `ns ' 1 ; IndVal  $\geq$  0,250

## III.2- DISCUSION

### III.2.1- Variables physicochimiques

La température des eaux des cours d'eaux du département de la Mvila varie très peu dans l'ensemble (21,80°C – 25,8°C). Cette gamme de température se rapproche de celle des cours d'eau forestiers du bassin de la Mabounié (20°C- 27°C) au Gabon par Mboye (2020), les sous-bassins versants des cours d'eau Abouda, Nga, du Fam et du Nkoumou (20,2°C- 23,9°C) par Biram à Ngon (2019), du cours d'eau Ndog Bissono (24°C – 26,3°C) par Ndourwe (2021), et du cours d'eau Mbeme (20,5°C – 24°C) par Tchouapi (2016). Les faibles valeurs moyennes enregistrées dans les différents cours d'eau pourraient s'expliquer par la température ambiante induite par le couvert végétal qui recouvre les différentes stations d'échantillonnage. Ce couvert végétal se comporte comme un parasoleil empêchant les rayons solaire d'atteindre les eaux et de les réchauffer. St-Onge *et al.* (2001) relevaient que la principale source de chaleur pour une rivière qui coule en milieu forestier est l'énergie solaire. La différence significative obtenues du test de Kruskal Wallis ( $p < 0,05$ ) pour ces valeurs de température serait due aux heures d'échantillonnage qui s'étalaient sur toute la journée. C'est dans ce sens que Kinouchi *et al.* (2007) ; Garner *et al.* (2013) relevaient qu'il existe une relation linéaire entre la température de l'eau et la température de l'air.

Le pH des eaux globalement à varié de 2,29 UC – 8,31 UC. Le pH moyen légèrement acide ( $5,78 \pm 0,91$  UC) des eaux dans cette région se rapproche du pH des cours d'eau forestiers du bassin de la Mabounié ( $6,25 \pm 0,62$  UC) par Mboye (2019) au Gabon, des sous-bassins versant des cours d'eau Nga, Abouda, Fam et du Nkoumou ( $5,37$ UC-  $7,72$  UC)) par Biram à Ngon (2019). Cette légère acidité des eaux serait attribuable à la nature des sols traversés et dans une certaine mesure aux acides humiques et à l'absence d'activités anthropiques dans le bassin. Cette remarque avait déjà été faite dans le bassin de la Mabounié par Mboye (2020).

En ce qui concerne la saturation en oxygène, les eaux dans ce bassin sont moins bien oxygénées dans l'ensemble ( $58,79 \pm 19,10$  %). Cette faible oxygénation des eaux pourrait s'interpréter par la faible vitesse du courant d'eau, mais aussi par les activités de pêches menées par les populations dans les différents cours d'eau. En créant des barrages de pêche le long du cours d'eau, la vitesse ainsi que le débit des eaux sont fortement modifiés, pouvant entraîner leur stagnation. En effet, dans un hydrosystème lotique, la

faible vitesse d'écoulement des eaux limite le phénomène de brassage et par conséquence les échanges dans l'interface air-eau. Lajaunie-Salla (2016), soulignait qu'à l'interface eau-atmosphère, des échanges de gaz se produisent, dont des échanges d'oxygène moléculaire et l'intensité de ces échanges dépend des conditions de turbulence au niveau de la couche limite entre l'eau et l'air. En d'autre terme, la faible oxygénation des eaux pourrait s'expliquer par la forte demande en oxygène des organismes décomposeurs pendant le processus de décomposition de la matière organique. Cette remarque avait également été faite par Mboye *et al.*, 2020 ; Dzavi *et al.*, 2022.

Rappelons que dans les milieux lotiques, la teneur en oxygène dissous des eaux est généralement liée aux échanges entre l'interface air-eau ainsi qu'au brassage créé par la présence des radiers et des méandres (Devidal *et al.*, 2007). La faible oxygénation des eaux dans ce bassin contraste avec les valeurs de saturation en oxygène des eaux du bassin de la Mabounié ( $80,44 \pm 10,01\%$ ) au Gabon par Mboye (2019), des sous-bassins du Nga, Abouda, Fam et Nkoumou ( $75,3\%$ ) par Biram à Ngon (2019) mais aussi de celles obtenues dans le cours d'eau Ndongo à Buea par Nwaha (2018).

Les faibles valeurs de l'alcalinité ( $2,86 \pm 2,08$  mg/l) enregistrées dans les différents cours d'eau étudiés seraient attribuable à la faible minéralisation ainsi qu'à la faible acidité des eaux. Ces valeurs se rapprochent de celles obtenues dans les sous bassins du Nga, de l'Abouda, du Fam et du Nkoumou par Biram à Ngon en 2019, mais s'écartent des valeurs obtenues dans le bassin de la Mabounié ( $17,79 \pm 14,73$  mg/l) au Gabon par Mboye 2019. Les mêmes observations avaient été faites par Lévêque & Balian (2005) ; Rodier *et al.* (2009) qui remarquaient que les variations de l'alcalinité d'une eau sont étroitement liées au degré de minéralisation et d'oxydation des composés organiques.

Les faibles valeurs des nitrates ( $1,5 \pm 0,98$ ) enregistrées dans les différents cours d'eau du département de la Mvila seraient liées à la faible minéralisation de la matière organique présente.

Les faibles valeurs relatives de la conductivité des eaux dans le bassin étudié seraient liées à une faible activité minéralisatrice dans l'ensemble du bassin et par conséquence une faible capacité à conduire le courant électrique. Ces observations sont largement en dessous de celles faites dans la Rivière Agnéby en Côte d'Ivoire (119,7

$\mu\text{S}/\text{cm}$  (juin) et  $151,95 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) par Diomandé *et al* (2009). La valeur moyenne de la conductivité électrique dans ce bassin, contraste avec les valeurs enregistrées dans le cours d'eau Bengo (moyenne de  $124,36 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). En effet, les valeurs élevées dans ce cours d'eau traduiraient une forte concentration des eaux en ions conducteurs de courant électrique par rapport aux autres cours d'eau du même bassin.

Les valeurs relativement faible de la turbidité ( $28,01 \text{ mg}/\text{l}$ ) et des MES ( $38,90 \text{ mg}/\text{l}$ ) dans l'ensemble des cours d'eau étudiés pourraient être dues aux faibles apports allochtones ainsi qu'à une faible charge en matières organiques. Les faibles apports allochtones en matière organique dans l'eau traduit une faible anthropisation des plans d'eau du bassin étudié. Ces observation sont en droite ligne avec celles faites dans les sous-bassins du Nga, de l'Abouda, du Fam et du Nkoumou par Biram en 2019, tout comme le les observations faites dans le bassin versant de la Mabounié au Gabon par Mboye en 2019. Neamoins, les fortes valeurs de turbidité, des MES et de la couleur enregistrées au mois de mars dans les différents cours d'eau seraient attribuables aux précipitations tombées dans cette zone. Ces précipitations ont précédés les prélèvements entraînant un lessivage des sols donc un apport conséquent de la matière organique dans les cours d'eau. Des observations similaires ont été faites entre octobre et décembre dans le bassin de la Mabounié par Mboye(2019) au Gabon.

L'Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée à partir des données physicochimiques met en évidence les variables physicochimiques sur lesquels l'on peut se baser pour définir les eaux des différents cours d'eau. Il s'agit entre autre de la couleur, turbidité, température, TDS, conductivité, alcalinité et oxygène dissous. Ces variables caractérisent mieux les cours d'eau dans ce bassin. Par contre, les orthophosphates, les MES, les nitrates et le  $\text{CO}_2$  peuvent être négligés voir ignorés dans la caractérisation physicochimique des eaux des différents cours d'eau.

Ainsi, la turbidité et l'oxydabilité sont des variables physicochimiques qui sont étroitement liés aux stations M1, M2, M3, S2 et S3 des cours d'eau Métyi et Sounou et par conséquence les caractérisent mieux. L'ammonium caractérisent les stations L1 et L3 du cours d'eau Lo'o ; alors que la température, TDS, la conductivité, l'alcalinité et le pH sont des variables qui caractérisent mieux les stations B1, B2 et B3 du cours d'eau Bengo. La

station S1 su Sounou de même que la station L2 de Lo'ô ne sont caractérisées par aucun paramètres en particulier.

La typologie abiotique réalisée à travers l'Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) ainsi que l'Analyse en Composante Principale (ACP) a permis de regrouper les stations d'échantillonnages en trois groupes selon leurs similitudes. Le groupe I étant composé des stations M1, M2, M3, S1, S2 et S3 qui sont organisés autour de la couleur et la turbidité. Le groupe II formé des stations L1, L2 et L3, regroupées autour de l'ammonium et le groupe III formé des stations B1, B2 et B3 réunis autour de la température, TDS, conductivité, alcalinité et l'oxygène dissou.

### **III.2.2- Variables Biologiques**

#### **III.2.2.1- Macroinvertébrés benthiques**

L'analyse qualitative des données biologiques des cours d'eau étudiés montre une forte richesse taxonomique définie par 174 taxons repartis en 3 embranchements, 5 classes, 11 ordres et 62 familles. Cette richesse taxonomique est néanmoins faible par rapport à celle obtenue dans le bassin de la Mabounié (202 taxons) au Gabon par Mboye (2019) et en Côte d'Ivoire (199 taxons) par Kressou (2020), mais se rapproche de celle observée par Foto Menbohan (2012) (197 taxons) dans quelques cours d'eau péri-urbains de la ville de Yaoundé. La richesse taxonomique observée dans différents cours d'eau étudiés est largement supérieur à celle obtenue dans deux ruisseaux le Nguitto et le Pala (114 taxons) en République centrafricaine par Ngoay-Kossy (2018). Cette forte richesse taxonomique obtenue dans ces différents cours d'eau pourrait s'expliquer de manière globale par la nature du substrat et la faible vitesse d'écoulement des eaux.

La vitesse d'écoulement des eaux dans un cours d'eau influe directement la structure de la faune macrobenthique. En effet une vitesse trop élevée provoque la dérive des macroinvertébrés non adaptés alors qu'une vitesse trop faible aurait un impact direct sur la circulation de la matière organique, et surtout sur le renouvellement des eaux en oxygène, ceci va rendre le milieu très défavorable à l'installation de certains groupes polluosensibles. Les mêmes observations avaient également été faites par Eyre *et al.* (2006) qui relevaient que les facteurs locaux (débit, largeur du lit, la vitesse d'écoulement des eaux ...) seraient en relation avec l'assemblage des formes fluviales du chenal influençant également la communauté des macroinvertébrés. De plus, la forte richesse

taxonomique des MIB dans les différents cours d'eau étudiés peut dans une certaine mesure s'expliquer par la diversité des niches écologiques et des microhabitats dans ces cours d'eau (Kearns & Stevenson, 2012 ; Karaboré *et al.* 2016).

La forte abondance de la classe d'insecte (63,67% d'abondance relative) est plus proche des résultats obtenus dans la rivière Kalengo en RDC dans laquelle les insectes avaient 62,5% d'abondance relative (Ndakala Mukungilwa *et al.*, 2015), et l'Agneby en Côte-d'Ivoire avec 68 % d'abondance relative d'insectes (Diomandé *et al.*, 2009). Cette prédominance des insectes pourrait s'expliquer par leur plasticité génétique, leur grande diversité, leur cosmopolitisme et donc leur aptitude à coloniser les niches écologiques variées (Caryou *et al.*, 2000 ; Hepp *et al.* 2013 et Prommi & Payakka 2015). En effet, la diversité génétique de la classe des insectes constitue pour ces organismes un atout majeur sur leurs capacités d'adaptation aux différentes conditions du milieu ainsi qu'à la faculté à coloniser les niches écologiques variées. Cette forte abondance des insectes traduit un milieu peu affecté par les activités anthropiques et donc une bonne santé écologique des cours d'eau étudiés (Tachet *et al.*, 2006, Moisan & Pelletier, 2008, Dzavi *et al.*, 2022).

Les proportions élevées des crustacés décapodes (33,29 % d'abondance relative) dans les cours d'eau étudiés seraient liées à une oxygénation satisfaisante (Dzavi *et al.*, 2022) et une abondance de la litière qui les servent de refuge Tachet *et al.* (2006). Cette abondance pourrait également être liée aux conditions du milieu favorables à leur expansion. Selon Anderson *et al.* (1982), la distribution et la répartition des macroinvertébrés comme les crevettes dans les cours d'eau, est dans une large mesure fonction des exigences spécifiques des divers taxa et des caractéristiques environnementales de ces cours d'eau (Agadjihouede *et al.*, 2009). Allant dans le même sens, Toto Kouamé *et al.* (2018), relevaient que le taux d'oxygène dissous, la température de l'eau, la transparence et la teneur en phosphate de l'eau, influencent fortement l'abondance et la distribution des différentes espèces de crevettes. Les résultats obtenus durant cette étude, corroborent ceux de Gwos *et al.* (2022), dans 4 cours d'eau de la région de l'Est Cameroun soit 33.34% de crustacés. La forte abondance des Décapodes dans ces cours d'eau, traduit leur bon état de santé écologique, et par conséquent les Décapodes seraient des indicateurs de bonne qualité écologiques des milieux lotiques (Tchakonté *et al.*, 2014 ; Nyamsi *et al.*, 2014).

Sur le plan spatial, le peuplement de macroinvertébrés récoltés est plus abondant dans le cours d'eau Sounou avec 40,69% d'abondance relative, suivi des cours d'eau Lo'o soit 21,37% d'abondance relative, Bengo avec 21,17% d'abondance relative et enfin vient le cours d'eau Métyi avec 16,77% d'abondance relative. La prédominance des organismes dans le Sounou pourrait s'expliquer par la nature du substrat de fond, et surtout la diversité des microhabitats. En plus de cela, peut s'ajouter la faible colonne d'eau dans le Sounou. Tous ces facteurs ont permis la prolifération des crustacés Décapodes qui à eux seuls représentent plus de la moitié du peuplement de macroinvertébrés dans ce cours d'eau soit 1811 individus (56,86% d'abondance relative). A l'opposé, la faible représentativité des macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Métyi (16,77% d'abondance relative) couplée à la faible diversité des taxons (74 taxons) pourrait être attribuée à la faible représentativité des microhabitats et des niches écologiques. Ceci se manifeste par la prédominance des Coléoptère et des Hétéroptères qui sont des organismes vivants à la surface des eaux et donc n'ayant pas de type d'habitat particulier.

Dans les cours d'eau Lo'o, et Sounou la forte diversité des macroinvertébrés (107 taxons et 97 taxons respectivement) traduit un milieu très peu perturbé par les activités anthropiques. Ces remarques avaient déjà été faites par Aazami *et al.* (2015) qui relevaient qu'un environnement moins altéré ou faible soumis à des pressions anthropiques favorise l'installation de la macrofaune benthique et son développement. Toutefois, la faible diversité de certains taxa dans ces cours d'eau, à l'instar des Epheméroptères Plécoptères et Trichoptères (EPT) serait due à leurs exigences écologiques très étroites et leurs grandes affinités pour les cours d'eau à haute altitude (Arimoro & Muller, 2010 ; Shelly *et al.*, 2011).

Sur le plan saisonnier, la plus forte abondance a été obtenue pendant la grande saison sèche (GSS) (43,48% d'abondance relative). Cette forte abondance serait liée aux conditions stables du milieu durant cette période notamment la faible colonne d'eau, la faible vitesse d'écoulement des eaux. A cela, on peut ajouter l'effort d'échantillonnage durant cette saison comparé aux saisons de pluies où parfois les microhabitats étaient inaccessibles. En effet, pendant la grande saison sèche (GSS), il est était plus facile et aisé d'échantillonner dans tous les compartiments d'une station. La forte abondance des macroinvertébrés durant la GSS rythme avec la plus grande richesse spécifique (111 taxa). Cette grande richesse spécifique se traduit par l'abondance et la diversité des



niches écologiques dans ces cours d'eau durant cette période. Ces observations sont similaires à celles faites par Kengne Fotsing (2018) dans quelques cours d'eau de la région de l'Ouest, mais vont à contre sens avec les travaux obtenus dans deux ruisseaux le Nguitto et le Pala (114 taxons) en République Centrafricaine par Ngoay-Kossy (2018) ; Tchakonté (2016). Selon les travaux de ces auteurs, la saison des pluies est généralement associée à l'augmentation de microhabitats et d'éléments nutritifs, offrant de ce fait les meilleures conditions de développement et de prolifération aux organismes.

La faible richesse taxonomique observée durant les saisons de pluie (GSP et PSP) pourrait être attribuée à l'augmentation de la vitesse, du débit et de la colonne d'eau. Ceci aurait eu comme conséquence la destruction de certains microhabitats favorables à certains organismes, ou encore la dérives des organismes non adaptés à ces nouvelles conditions du milieu (Moretti & Callisto, 2005 ; Callisto & Goulart, 2005). Néanmoins, soulignons que les saisons pluvieuses offrent un peuplement de macroinvertébrés assez-bein diversifié par rapport à leurs abondances relatives. C'est dans ce sens que Xu *et al.* (2014), relevaient que les mois pluvieux sont souvent associés à une plus grande diversité taxonomique des peuplements de macroinvertébrés benthiques.

### **III.2.2.2- Indices Biocénétiques**

Les valeurs des indices de Shannon & Weaver, d'Équitabilité de Piérou et de Simpson traduisent globalement un peuplement de macroinvertébrés benthiques riche, diversifié et équitablement reparti. Toutefois, les faibles valeurs de l'indice de Shannon & Weaver (3,29 bit/ind) et de l'équitabilité de Piérou (0,50 bit/ind) enregistrées dans le cours d'eau Sounou traduisent un peuplement de macroinvertébrés peu diversifié par rapport aux autres cours d'eau. Cette faible diversité serait liée à la prédominance d'un groupe d'organisme (les crustacés Décapodes) ce qui a entraîné un déséquilibre du peuplement des macroinvertébrés benthiques. Selon Davies *et al.* (2010), les faibles valeurs d'indice de diversité traduisent une mauvaise organisation du peuplement, conséquence de la prolifération de quelques espèces dominantes au détriment d'autres espèces.

A l'opposé, les cours d'eau Metyi, Bengo et Lo'o qui ont des valeurs des indices de Shannon & Weaver, l'Équitabilité de Piérou et Simpson relativement élevées, traduisent à suffisance une forte diversité ainsi qu'une répartition équitable des organismes

macrobenthiques. Des observations pareilles ont permis à Fisher et al. 1982 de souligner qu'un indice de diversité est d'autant plus élevé que les conditions du milieu permettent l'installation et le maintien d'une communauté biologique équilibrée, intégrée et capable de s'adapter aux changements.

### III.2.2.3- Caractérisation biologique des stations d'échantillonnage

L'analyse Canonique de Correspondance (ACC) couplée à l'Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) ont permis de regrouper les différentes stations en trois grands groupes (I, II et III). Le groupe I se compose des stations M1 et M2 du cours d'eau Métyi, le groupe II lui se compose des stations B1, B2, B3, M3 et L3 des cours d'eau Bengo, Métyi et Lo'o respectivement et le groupe III qui comporte les stations S1, S2, S3, L1 et L2 des cours d'eau Sounou et Lo'o. Chaque groupe de station est défini par les organismes biologiques bien précis qui y trouvent des meilleures conditions de croissance et de développement. Le groupe I est définie par les MES, la couleur, la turbidité, le CO<sub>2</sub>, l'ammonium, l'oxydabilité ainsi les graviers. Les organismes qui caractérisent ce groupe sont *Naucoris* sp, *Laccophilus* sp, *Ephemerella sensu*, *Coenagrion* sp, *Hydropsyche* sp et *Cylindrostethus quadrivittatus*. Le groupe II se définit par la température, le pH, les TDS, la conductivité, orthophosphates, nitrates. Les organismes inféodés à ce groupe sont *Ranatra linearis*, *Hydrometra carayoni*, *Mesovelina furcata*, *Microvelina* sp, *Derallus* sp, *Orectogyrus* sp, *Heptagenia* sp et *Lestinogomphus angustus*. Le groupe III est caractérisé par l'oxygène dissous, la turbidité, l'alcalinité, sable fin (SF), sable grossier (SG) et granulat. Les organismes rattachés sont *Macrobrachium* sp, *Caridina africana*, *Tenagogonus albovittatus*, *Orthetrum brunneum*, *Sympetrum depressiusculum*, *Thraulius bellus*, *Rhagovelia* sp.

Ce travail qui a porté sur quatre (04) cours d'eau soit douze (12) stations, nous a permis de mettre en évidence l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution des macroinvertébrés benthiques. Grâce à l'analyse de la SOM qui a rassemblée les organismes en trois groupes en fonction des caractéristiques de l'environnement. Ainsi, les organismes du groupe 1 étaient mieux représentés pendant la GSS. Ces organismes présentent donc de fortes capacités de résistance au stress hydrique et aux fortes concentrations des éléments chimiques. Les organismes appartenant au groupe 2 présentent des affinités à la grande saison de pluie. Ils semblent donc adorer les

eaux moins concentrées qui ont subi une dilution par les précipitations. Ces organismes présentent des aptitudes à mieux résister aux fortes variations des paramètres hydrologiques tels que l'épaisseur de la colonne d'eau et la vitesse du courant. Enfin les organismes du groupe 3, eux trouveraient les meilleures conditions durant la petite saison de pluie. En effet, durant cette période, les conditions du milieu sont supposées être modérées et stables (ni trop fortes, ni trop faibles) ce qui assure donc les meilleurs chances de survie à ces organismes qui auraient du mal à résister aux fortes variations du milieu. Les taxons inféodés à ce groupe, pourraient alors être considérés comme des taxons indicateurs de la bonne qualité écologique des eaux.

L'application de la méthode IndVal a permis d'identifier 39 taxons indicateurs significatifs selon la typologie des groupes définie par la SOM sur les 167 taxons de macroinvertébrés benthiques présents dans les différents cours d'eau. Ainsi, 22 taxons sont indicateurs des trois groupes donc 9 taxons pour le GI, 2 taxons pour le GII et 11 taxons pour le GIII. Cette analyse nous montre que la combinaison des GI + GIII présente un grand nombre de taxons indicateurs significatifs (14 taxons). Au cours de cette analyse, les taxons qui sont considérés comme indicateurs sont ceux donc la valeur IndVal est  $\geq$  25% et donc la significativité a été révélée par le test de Monte-carlo. Selon Cáceres & Legendre (2009), la relation entre une espèce et un site ou groupe de sites n'est complète que si après le calcul des valeurs indicatrices, l'espèce est significative c'est-à-dire préfère les conditions environnementales qui prévalent dans le milieu. *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, (ordre des Décapodes), *Rhagovelia* sp et *Ranatra linearis* (ordre des Hétéroptères) qui ont une valeur IndVal  $\geq$  75 % et une valeur de fidélité très élevée ( $B \geq$  65%) peuvent être considérées comme étant les taxons les plus indicateurs des conditions du milieu. En effet, l'ACC établie au préalable avait déjà été révélée que les taxons *Macrobrachium* sp, *Caridina africana* et *Rhagovelia* sp sont corrélés positivement à la turbidité, l'alcalinité, l'oxygène dissous, sable fin (SF), sable grossier (SG) et granulat.

#### **III.2.2.4- Groupe fonctionnel trophiques**

L'analyse des groupes fonctionnels trophiques dans les différents cours d'eau étudiés a permis d'identifier les différences dans la composition fonctionnelle des communautés de macroinvertébrés benthiques. De manière générale, les prédateurs (45,54%) et les brouteurs / déchetteurs (33,89%) ont dominé le peuplement en terme

d'abondance relative. Cette forte domination des prédateurs et des brouteurs / déchiqueteurs sur les autres groupes serait liée à la présence de nombreuses proies pour les prédateurs ainsi qu'à la l'abondance de la matière organique qui provient de la canopée, approvisionnant les cours d'eau en litières. En effet, certains auteurs ont montré l'implication des brouteurs / déchiqueteurs dans la décomposition de la litière en compagnie des hyphomycètes (Monoury, 2013 ; Tenkiano, 2017). Ces résultats se rapprochent de ceux de Tenkiano (2017) dans les cours d'eau de Guinée, et Masese *et al.* (2014) au Kenya où les prédateurs dominaient le peuplement de macroinvertébrés benthiques. Les racleurs dans cette étude occupent la troisième place avec 10,61% d'abondance relative. Cette abondance pourrait se justifiée par leur mode de nutrition. En effet, les racleurs se nourrissent d'une grande variété de ressources, incluant les algues attachées aux roches ainsi que de biofilm benthique qui est composé de bactéries, champignons, algues qui recouvrent les substrats (Tenkiano, 2017). Ainsi, une bonne présence de ce groupe (racleurs) serait un signe que les cours d'eau malgré la présence d'une importante canopée, reçoivent la lumière qui assure le développement des producteurs primaires. Par contre les très faibles abondance des détritivores et des filtreurs seraient une preuve que les cours d'eau dans cette région sont très peu chargés en matière organique en décomposition (Mboye, 2019). Reid *et al.*, (2013), avaient soulignés que les détritivores et les collecteurs/filtreurs sont les premiers et principaux colonisateurs des milieux pollués.

Pour ce qui est de la richesse taxonomique, les détritivores avec 18 familles sont les plus diversifiés devant les prédateurs 16 familles. Ces résultats diffèrent des résultats obtenus dans le bassin de la Mabounié par Mboye en 2019 où les prédateurs étaient plus diversifiés suivi des déchiqueteurs.

## **CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

L'étude menée dans quatre cours d'eau de la région du Sud, précisément dans le département de la Mvila avait pour objectif général d'évaluer la distribution des macroinvertébrés benthiques en rapport aux variations des paramètres écologiques du milieu.

Ainsi nous pouvons retenir que dans les différents cours d'eau, le substrat de fond est en majorité constitué d'un mélange de sable grossier et du gravier. On y rencontre également des granulats à des proportions non négligeables. Sur le plan physicochimique le test de Kruskal Wallis n'a montré aucune différence significative entre les différents cours d'eau étudiés ( $p > 0,05$ ). Néanmoins, les eaux des différents cours d'eau présentent des valeurs de pH légèrement acides, une faible teneur en matières azotées et des températures moyennes. Les valeurs de la conductivité, des TDS et des MES restent dans l'ensemble inférieures aux valeurs moyennes consignées dans la grille de qualité des eaux. Malgré la faible oxygénation apparente, ces eaux sont dans un état écologique satisfaisant selon l'indice de pollution organique qui révèle un degré de pollution allant de médiocre à faible. Les résultats physicochimiques traduisent donc un bassin très peu anthropisé mais qui serait néanmoins sous la menace des activités anthropiques comme la pêche menée par les populations riveraines.

Concernant la biologie, 7828 organismes de macroinvertébrés benthiques ont été récoltés, identifiés et dénombrés en 174 taxons. Les taxons identifiés ont été répartis en 3 embranchements (Arthropodes, Mollusques et Annélides), 5 classes (Crustacés, Insectes, Gastéropodes, Bivalves et Oligochètes), 11 ordres, et 62 familles. Parmi les 174 taxons de macroinvertébrés benthiques identifiés et dénombrés nous avons 113 taxons rares, 26 taxons accessoires, 16 taxons constants, 10 taxons réguliers et 9 taxons omniprésents. La faune macrobenthique est largement dominée par les insectes et les crustacés qui rassemblent près de 97% du peuplement global, avec une prédominance de l'ordre des Décapodes (33,25%) suivi des Coléoptères (23,63%) et des Hétéroptères (20,18%). Cette suprématie des crustacés Décapodes traduit le caractère peu anthropisé des cours d'eau étudiés. La structure du peuplement de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau durant toute la période d'étude est typique à celle des cours d'eau forestiers avec un peuplement très riche, diversifié et équitablement réparti. Sur le plan trophique et précisément en terme d'abondance, le peuplement de macroinvertébrés benthiques est dominé par la prédateurs, suivi des brouteurs /

déchiqueteurs, des racleurs, des détritivores et des filtreurs. Par contre sur la plan de la richesse taxonomique, les détritivores avec 18 familles sont les plus diversifiés, suivi des prédateurs avec 16 familles. Viennent les brouteurs/déchiqueteurs avec 12 familles, les racleurs 11 familles et les filtreurs avec seulement 4 familles. La méthode IndVal a permis dans cette étude d'identifier 39 taxons de macroinvertébrés benthiques indicateurs significatifs des conditions du milieu. Parmi les 39 taxons indicateurs, quatre taxons qui présentent des valeurs IndVal  $\geq 75$  % et des valeurs de fidélité très élevées ( $B \geq 65\%$ ) peuvent être considérés comme étant les meilleurs indicateurs des conditions qui règnent dans ces différents cours d'eau. Il s'agit notamment de *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp, (ordre des Décapodes), *Rhagovelia* sp et *Ranatra linearis* (ordre des Héteroptères).

La typologie abiotique a permis de mettre en évidence l'influence de MES, couleur, CO<sub>2</sub> NH<sub>4</sub> et oxydabilité dans les stations M1 et M2 du cours d'eau Métyi. Par contre les stations M3, L3, B1, B2 et B3 des cours d'eau Bengo et Lo'o sont caractérisées par la température, pH, les teneurs en nitrates, orthophosphates, TDS et conductivité. La typologie biotique réalisée sur la base des analyses multivariées telles que l'ACP, l'ACH, l'ACC et la SOM a permis de mettre en évidence les paramètres environnementaux qui influent sur la distribution des macroinvertébrés benthiques dans ces milieux. Ainsi, *Macrobrachium* sp, *Thraulius bellus* et *Rhagovelia* sp, sont fortement influencés par les fortes teneurs en oxygène et en alcalinité des eaux et un substrat dominé par du sable fin. Par contre *Caridina africana*, *Tenagogonus albovittatus*, *Orthetrum brunneum* et *Sympetrum depressiusculum* affecteraient des milieux turbides et donc le substrat est dominé par du sable grossier et les granulats.

Au regard des changements climatiques auxquels nous faisons face, à la suite des résultats obtenus durant cette étude, et surtout dans le but de préserver la qualité, l'intégrité et la diversité faunistique des eaux des cours d'eau dans la régions du Sud Cameroun, nous formulons les recommandations suivantes :

Aux populations d'œuvrer pour la préservation et le maintien des hydrosystèmes à tavers des actes écocitoyens. En effet, après leurs activités de pêches, les populations doivent penser à dégager le lit du cours d'eau afin que celui-ci retrouve son fonctionnement normal (vitesse d'écoulement des eaux et débit).

Aux pouvoirs publics, de prendre en considération les résultats de ces travaux pour améliorer les politiques sur la gestion des ressources hydriques, tout en mettant un accent particulier sur la préservation et la conservation de la biodiversité en milieux aquatique conformément aux objectifs de la SND30 (Stratégie Nationale de Développement horizon 2030) qui visent la préservation de l'environnement.

Aux hydrobiologistes, de poursuivre les travaux de recherche dans tous les autres hydrosystèmes du pays afin de disposer d'une masse importante de données sur les macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains, périurbains et forestiers du Cameroun.

Pour nos travaux futur, nous comptons, approfondir les études taxonomiques sur les MIB, identifier les groupes trophiques en fonction des aliments dans leur tube digestif. Et enfin, mettre sur pied un indice multimétrique pour l'évaluation de t'état de santé des cours d'eau forestiers du Cameroun.



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Aazami J., Esmaili-Sari A., Abdoli A., Sohrabi H. et Van den Brink P. J., 2015. Monitoring and assessment of water health quality in Tajan River. Iran using physicochemical. Fish and macroinvertebrates indices. *Journal of environmental health Science and Engineering*. 13(2) : 60-69.
- AFNOR, 2004. Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Association Française de Normalisation, AFNOR, Paris. 15 p.
- Agadjihouede H., Chikou A. & Laleye P., 2009. Diversité et abondance des crevettes d'eau douce dans la lagune de Grand-Popo (Bas Mono) au Sud du Bénin. *Actes de 2<sup>ème</sup> Colloques de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies, Sciences Agronomiques* : 462-469.
- Aguilar Ibarra A., Park Y.S., Brosse S., Reyjol Y., Lim P. et Lek S., 2005. Nested patterns of spatial diversity revealed for fish assemblages in a West European River. *Ecology of Freshwater Fish*, 14: 233-242.
- Alhoniemi E., Himberg J., Parhankangas J. et Vesanto J., 2000. SOM Toolbox, <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>.
- Amoros C. & Bornette G., 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology*, 47 : 761-776.
- Amoros C., Bravard J-P., Reygrobellet J-L., Pautou G. et Roux A-L., 1988. Les concepts d'hydrosystème et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des écosystèmes. *Bulletin écologique*, 19(4) : 531-546.
- Amoros, C. et Petts, G.E., éd. (1993). *Hydrosystèmes fluviaux*. Collection Écologie no 24, Masson, Paris, XIX, 300 p.
- Anderson N. H., Charles P. H. & Michael L. M., 1982. Effects of canopy, substrate composition and gradient on the structure of macroinvertebrate communities in Cascade Range stream of Oregon. *Ecology*, 63 (3) : 1840-1856.
- Angelier E., 2000. *Ecologie des eaux courantes*. Edition Technique et Documentation, édition, Paris, 199 p.
- Angelier E., 2003. *Ecology of streams and rivers*. Science Publisher, Inc. Enfield: 211-213.
- APHA., 1998. *Standard method for examination of water and wastewater*. American Public Health Association 20th edition. Washington. DC. 1150 p.
- Arimoro F. O. & Muller W. J., 2010. Mayfly (Insecta: Ephemeroptera) community structure as an indicator of the ecological status of a stream in Niger Delta area of Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, 166 : 581-594.

- Arrignon J. 1998. Aménagement piscicole des eaux douces. 5<sup>e</sup> édition. Paris, Lavoisier. *Halieutique et Aquatique*, 55 : 1573-1582.
- Baccini A., 2010. Statistiques descriptive multidimensionnelle. Institut de Mathématiques de Toulouse / UMR CNRS 5219. Université Paul Sabatier. 33p.
- Bady P., Dolédec S., Fesl C., Gayraud S., Bacchi M., Scholl F., 2005. Use of invertebrate traits for the biomonitoring of European large rivers: the effects of sampling effort on genus richness and functional diversity. *Freshwater Biology*, 50 : 159-173.
- Baglinière J.L., Rivot E., Roussel J-M, Perrier C., Bal G., Prévost E., Beall E., Piou C., Lassalle G. et Rochard E., 2010. Changements climatiques et dynamique de populations de saumon Atlantique (*Salmo salar*). In "ARP Gestion de l'Incidence du Changement climatique et biodiversité (GICC2-Biodiversité) : Changement climatique et stratégies démographiques des populations piscicoles D. Pont (coord). Rapport scientifique de fin de contrat, 135 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.
- Bannerman S., 1997. *Landscape ecology and connectivity*. British Columbia of Forests Research Program, 9 p.
- Barbour M. T., Gerristen J., Snyder B. D. et Stribling J. B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2<sup>nd</sup> edition, *U. S. Environmental Protection Agency, office of water, Washington*, 64 p.
- Biram à Ngon E. B., 2019. Etude bioécologique des dictyoptères aquatiques dans le bassin versant de la Mefou. *Thèse de doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I*. 150 p.
- Blandin, 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques - Bulletin d'écologie.
- Boissonneault Y., 2006. Le suivi écologique des rivières du Québec : comparaison des bio-indicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques. *Mémoire de maîtrise. Université de Trois-Rivières. Trois-Rivières. Québec*. 137p.
- Bonada N., Prat N., Resh V. H., Statzner B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51: 495-523.
- Borrer D-J. & White R.E., 1999. Les insectes de l'Amérique du Nord (au nord du Mexique). *Ed. Broquet Inc, Québec*, 408 p.
- Boudour.A. & Habiles R., 2017. La qualité de l'eau en relation avec les macroinvertébrés (cas oued Seybouse). *Mémoire de master, Université 08 Mai 45 de Guelma*. 65p.

- Boukli Hacene S., 2012. Bioécologie des Coléoptères (Arthropodes-Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tefna (Tlemcen). *Thèse de Doctorat en Ecologie Animale. Université de Tlemcen*, 138 p.
- Cairns J. J., 1978. Zooperiphyton (especially protozoa) as indicator of water quality, *Transactions of the American Microscopy Society*, 97: 43-49.
- Cairns, J. & Pratt, J.R., 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In : D. M. Rosenberg & V. H. Resh (eds), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (Rosenberg, D.M.R. & Resh, V.H. Eds), Chapman & Hall, London : 10-27.
- Callisto M. & Goulart M., 2005. Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serre Do Cipó National Park, Brazil. *Hydrobiologia*, 539: 47-56.
- Cao Y., Hawkins C. P., 2005. Simulating biological impairment to evaluate the accuracy of ecological indicators. *Journal of Applied Ecology*, 42: 954-965.
- Caryou J., Compin A., Giani N. & Céréghino R., 2000. Association spécifique chez les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation pour la biotypologie des cours d'eau. Cas du réseau hydrographique d'Adour-Garonne (France). *Annales de limnologie*. 36 : 189-202.
- CEAEQ, 2007. Détermination des Orthophosphates dans l'eau : méthode calorimétrique automatisée à l'acide ascorbique. *Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec*. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Revue, 3, 12 p.
- Charvet S, Kosmala A et Stanzner B. (1998). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: perspectives for a general tool in stream management. *Archiv Fu Hydrobiologia*, 142 : 415-432.
- Chessman, B.C., 1995. Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family-level identification, and a biotic index. *Aust. J. Ecol.* 20 : 122-129.
- Colas F, Vigneron A, Felten V, Devin S. (2014). The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment: Using macroinvertebrate species under multiple stressors. *Environmental Pollution*, 185 : 24-34.
- Cook S. E. K., 1976. Quest for an index of community structure sensitive to water-pollution. *Environmental Pollution*, 11: 269-288.
- Cook S.E., 1976. Quest for an index of community structure sensitive to water pollution. *Environmental pollution*, vol. 11, 269-288.

- Cummins K. W., 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18 (1) : 183-206.
- Davies P. J., Wriqth I. A, Findlay S. J., Jonasson O. J. and Burgin S., 2010. Impact of Urban development on aquatic macroinvertebrate in south eastern Australia: degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban steams. *Aquatic Ecology*, 44: 685-700.
- Day J. A., Harrison A. D. and 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. 200 p.*
- De Caceres, M., & Legendre, P., 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, URL.<http://sites.google.com/site/miqueldecaceres/>
- De Moor I. J., Day J. A. and De Moor F. C., 2003. *Guides to the freshwater invertebrates of Southern Africa. Vol. 7: Insecta I. Ephemeroptera. Odonata & Plecoptera. Water Research Commission Report. No. TT 207/03. Pretoria. 288 p.*
- Death R. G., 1995. Spatial patterns in benthic invertebrate community structure: Products of habitat stability or are they habitat specific? *Freshwater Biology*, 33 : 455-467.
- Devidal S., Richard-Sirois C., Pouet M-F. et Thomas O., 2007. Solutions curatives pour la restauration des lacs présentant des signes d'eutrophisation, rapport interne, *Observatoire de l'environnement et du développement durable, Université de Sherbrooke, Québec*, 51 p.
- Devillers J., Squilbin M. et Yourassowsky C., (2005) : Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, *Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement* : 1-4.
- Diomandé D., Bony K. Y., Edia O. E., Konan K. F., Gourène G., 2009 b. Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest).
- Diomandé D., Kotchi Bony Y., Edia E., Konan K.F. et Gourène G., 2009. Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*; 35(3) : 368-377.
- Djebnoui, A. & Nouar, M., 2015. Contribution de l'étude des macroinvertébrés de la haute Seybouse, Mémoire de Master. Université de Guelma. 83p.
- Dolédec S., Statzner B., Bournard M., 1999. Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology*, 42 : 737-758.
- Dufrêne M. et Legendre P., 1997. Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- Dufrêne M., 1992. Biogéographie et écologie des communautés de Carabidae en Wallonie. *Thèse de Doctorat*, Université Catholique de Louvain, Belgique, 194 p.

- Durand J. R. et Leveque C., 1991. *Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne. Tome II. Edition ORSTOM. Paris. 517 p.*
- Dzavi, J., Menbohan, S.F., Mboye, B.R., Nwaha, M. and Biram à Ngon, E.B., 2022. Spatiotemporal Variation of Benthic Macroinvertebrates in Some Tropical Forest Streams of the Nyong Catchment (Cameroon). *Open Journal of Applied Sciences*, 12 : 1210-1231.
- El Morhit M., 2009. Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). *Thèse de Doctorat de l'Université Mohammed V-AGDAL. 190 p.*
- Elouard Jean-Marc & Gibon François-Marie, 2001. Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar. *Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 447p.*
- Ewane A. I., 2005. *Analyse structurelle et préféabilité du projet d'aménagement du lac municipal d'Ebolowa. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I. Cameroun. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS). Sciences Environnementales. 60p.*
- Eyre M. D., Foster G. N., Luff M. L. & Rushton S. P., 2006. The definition of British water beetle species pool (Coleoptera) and their relationship to altitude. Temperature, precipitation and land cover variables. *Hydrobiologia*. 560 : 121-131.
- Fatet M., Abdelghani Z., Smail C., Hayet M. et Mohamed B., 2018. Etude saisonnière du régime alimentaire du barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne 1842) dans le réservoir de K'sob (M'sila, Algérie). *Revue des Sciences de l'eau*, 31(2) : 163-171.
- Fawzi B., Chlaida M.O., Loudiki M., Sabour B. et Bouzidi A., 2001. Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain : Oued Hasser. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 : 73-89.
- Fisher S. G., Gray L. J., Grimm N. B. et Busch D. E., 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding, *Ecological Monograph*, 52 : 93-110.
- Fodé k. & Vall Zouboye M., 2018. Contribution à la Recherche sur la Faunistique et l'Ecologie des Macroinvertébrés des cours d'eau du Mali. Mémoire de Master. Univ de Guelma. 115p.
- Foto Menbohan S, Koji E, Ajeegah G, Bilong Bilong C.F et Njiné T. (2012). Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon. *International Journal of Biosciences*, 2 (11): 137-145.
- Foto Menbohan S. et Njiné T., 1991. Influence de la pollution organique sur la diversité des peuplements de ciliés de deux cours d'eau urbains au Cameroun. *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I. Série Sciences Naturelles et Vie* : 281-294.
- Foto Menbohan S., 2012. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : essai de biotypologie. *Thèse Doctorat d'Etat. Université Yaoundé I. 220 p.*

- Foto Menbohan S., Koji E., Ajeegah G., Bilong Bilong C.F. et Njiné T., 2012. Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon. *International Journal of Biosciences*, 2 (11) : 137-145.
- Foto Menbohan S., Njine T., Zebaze Tougouet S. H., Kemka N., Nola M., Monkiedje et Boutin C., 2006. Distribution du zooplancton dans un réseau hydrographique perturbé en milieu urbain tropical (Cameroun). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle*, 142 : 53-62.
- Foto Menbohan S., Tchakonté S., Ajeegah G.A., Zébazé Togouet S.H., Bilong Bilong C.F. et Njiné T., 2013. Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2 : 91-104.
- Friedrich G, Chapman D et Beim A. (1992). The use of biological material. In D. Chapman, water quality assessment: a guide to the use of biota, sediment and water in environmental monitoring, Edition Chapman & Hall : 171-238.
- Gagnon E. et Pedneau J., 2006. Survol Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec. Canada, 32 p.
- Garner G., Hannah DM, Sadler J. P. et Orr HG., 2013: River temperature regimes of England and Wales: spatial patterns, inter-annual variability and climatic sensitivity. *Hydrological Processes* 28 : 5583–5598
- Gevrey M., Dimopoulos I. and Lek S., 2003. Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecological Modelling* 160 (2003): 249-264.
- Gevrey M., Rimet F., Park Y. S., Giraudel J. L., Ector L et Lek S., 2004. Water quality assessment using diatom assemblages and advanced modeling techniques. *Freshwater Biology*, 49 : 208 – 220.
- Giraudel J. L. et Lek S., 2001. A comparison of Self-Organizing Map and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, 146 : 329-339.
- Glèlè Kakaï R., Salako V. K., Padonou E. A. et Lykke A. M., 2016. Méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. *Annales des Sciences Agronomiques*, 20 : 139-157.
- Goaziou Y., 2004. Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basées sur les macroinvertébrés benthiques. Rapport de stage. Québec. Ministère de l'Environnement. Direction du suivi de l'état de l'environnement. *Envirodoq n°ENV/2004/0158. Collection n°QE/146. 37p.*
- Gwos Nhiomock S. R., Foto Menbohan S., Nyame Mbia D., Tchouapi Y.L., Biram A Ngon E. B. and Disso E., 2022. Biodiversity and water health status of four rivers in the East Cameroon region. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 18(03) : 226–241.

- Hannah D. M. et Gardner G., 2015. River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. *Progress in Physical Geography*.
- Heidemann H. et Seidenbusch R., 2002. *Larve et exuvies des libellules de France et d'Allemagne*. 416p.
- Heino J., R. Virkkala & Toivonen H., 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Review*, 84 : 39–54.
- Henri T., Philippe R., Michel B. et Philippe U., 2010. *Invertébrés d'eau douce : systématique. Biologie écologique*
- Hepp L. U., Restelle R. M. & Milesi S. V., 2013. Distribution of aquatic insects in urban headwater streams. *Acta limnologica Brasiliensia*. 25 : 1-9.
- Ihaka R. and Gentleman R., 1996. Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 5 (3) : 299-314.
- INC., 1979. Carte topographique de Ebolowa et ses environs au 1/50000, Yaoundé : Institut Nationale de Cartographie, feuille 3d.
- 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. 144p.
- Institut Nationale de la Statistique (INS), 2018. Annuaire Statistiques de la Région du Sud, 180p.
- International Lake Environment Committee (ILEC), 1997. Guidelines of Lake Management, Volume 8: World's. Lakes in Crisis, Shiga, Japan: International. 184 p.
- Jain S., 2012. Assessment of water quality at the three station of Chambal River. *International Journal of Environmental Sciences*, 3 : 881-884.
- Jullian E, Hirbe A, Ker B.N, et Liu R.Z. (2005). "Qualité de l'eau du bassin versant de l'Ardèche." Université de Paris 7 - Denis – Diderot, UFR des Sciences Physiques de la Terre (IUP Génie de l'Environnement), 149p.
- Kaboré I., Ouédraogo I., Tampo L., Ouéda A., Moog O., Guenda W. et Melcher A. H., 2016 b. Composition and dynamic of benthic macroinvertebrates community in semi-arid area rivers of Burkina Faso (West Africa). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 : 1542-1561.
- Kampa E., Artemiadou V. & Lazaridou-Dimitriadou M., 2000. *Ecological quality of the river Axios (N. Greece) during spring and summer 1997*. *Belgium Journal of Zoology*, 130: 21-27.
- Karr J. R., 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Application*, 1(1): 66-84.



- Kearns P. & Stevenson R. D., 2012. The effect of decreasing temperature on arthropod diversity and abundance in horse during decomposition communities of South-eastern Massachusetts. *Psyche : A journal of Entomology* : 1-12.
- Kengne Fotsing 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 en cotutelle internationale, Université de Lille-Sciences et Technologies et l'Université de Yaoundé I*. 174p.
- Kinouchi T, Yagi H. et Miyamoto M., 2007: Increase in stream temperature related to anthropogenic
- Kohonen T., 1995. *Self-Organizing Maps*. Springer.
- Kohonen T., 2001. *Self-Organizing Maps (3rd Edition)*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 501p.
- Kohonen, T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43 : 59-69.
- Konan K. J., Atsé B. C., Kouassi N. J., 2008. Habitudes et stratégies alimentaires de *Tylochromis jentinki jentinki* (Cichlidae) dans la lagune Ébrié, Côte d'Ivoire. *Cybiuim*, 32 (1) : 3-8.
- Kouamé T., Gooré Bi G., Kémomadjèhi Djiriéoulou C., Konan N'Zi G., et Gnonleba Boguhé D. H. F., 2018. Peuplement et diversité biologique des crevettes du cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied* 24 (1) : 379-388.
- Koudenoukpo C. Z., Chikou A., Zebaze Togouet S. H., Mvondo N., Hazoume R. U. S., Houndonougbo P. K., Mensah G. A. And Laleye P. A., 2017. Zooplanctons et Macroinvertébrés aquatiques : vers un assemblage de bioindicateurs pour un meilleur monitoring des écosystèmes aquatiques en région tropicale. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 20(1) : 276-287.
- Kourradi R., 2007. Evaluation du degré de la pollution anthropique de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie et la dynamique de *Scrobicularia plana* (Linné, 1758) et *Solen marginatus* (Linné, 1767). *Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal*. 313p.
- Kressou A., 2020. Diversité, structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques et état d'intégrité écologique des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ (Côte d'Ivoire) en Écologie, Biodiversité et Évolution*. 167p
- Krzanowski W. J., 1988. Principles of multivariate analysis. A user's perspective. *Clarendon Press, Oxford*, 206 p.
- Lajaunie-Salla K., 2016. Modélisation de la dynamique de l'oxygène dissous dans l'estuaire de la Gironde. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux en Sciences de la Terre*. 207p.

- Lalonde S. et Downing J. A., 1992. Phytofauna of eleven macrophyte beds of differing trophic status depth, and composition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 49: 992-1000.
- Lazaridou-Dimitriadou M., Artemiadou V., Yfantis G., Mourelatos S. & Mylopoulos Y., 2000. *Contribution to the ecological quality of Aliakmon River (Macedonia, Greece): a multivariate approach*. *Hydrobiologia*, 410: 47-58.
- Leclercq, L., 2001. Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique : 67-82.
- Lefèvre T., 2013. *La répartition de l'eau sur la Terre*. 3p.
- Legendre L et Legendre P., 1979. Ecologie Numérique. *Masson* (Eds), Paris (France), 1-2, 247p.
- Legendre P. And Legendre L., 2012. Numerical ecology, 3rd English edition. *Elsevier 'Science BV'*, Amsterdam. 397 p.
- Legendre P. et Legendre L., 1998. Numerical Ecology. *Developments in Environmental Modelling* 20, Second English Edition, *Elsevier*, Amsterdam. 853 p.
- Lek S., Delacoste M., Baran P, Dimopoulos I., Lauga J et Aulagnier S., 1996. Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological Modelling*, 90: 39-52.
- Lek S., Giraudel J.L. et Guégan J.F., 2000. Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists. In: Lek S. et Guégan J.F. (Eds.): *Artificial Neuronal Networks: Application to Ecology and Evolution*. *Springer - Verlag*, Berlin : 3-27.
- Levêque C. et Balian, 2005. *Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream*. *Hydrobiologia*. 542: 25-26.
- Mary N. et Archaimbault V., 2011. L'indice Biotique de la Nouvelle Calédonie (IBNC) et l'Indice Biosédimentaire (IBS) : Guide méthodologique et technique. *DAVAR*. 45 p.
- Mary N., 1999. Caractérisations physicochimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. *Thèse de Doctorat, Université Française du Pacifique*, France, 200p.
- Masese, F. O., Kitaka, N., Kipkemboi, J., Gettel, G. M., Irvine, K., & McClain, M. E., 2014. Macroinvertebrate functional feeding groups in Kenyan highland streams: evidence for a diverse shredder guild. *Source: Freshwater Science*, 33(2) : 435-450.
- Masselot G. & Nel A., 2003. Les Odonates sont-ils des taxons bio-indicateurs ? *Martinia*, 19 (1) : 7-40.
- Mboye, B.R., Koumba, A.A., Dzavi, J., Tchinga, G., Foto Menbohan, S. and Mbega J.D. (2020) Abondance, diversité et valeur indicatrice des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau forestier du bassin versant de la Mabounié au Gabon. *Afrique Science*, 17 : 89-103.

- Mboye B. R., 2019. Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon) : Essai de biotypologie. *Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Université de Yaoundé 1*. 214 p.
- McCormick S. D., Lerner D. T., Monette M.Y., Nieves-Puigdoller K., Kelly J. T. & Björnsson B. Th., 2009. Taking It with You When You Go: How Perturbations to the Freshwater Environment, Including Temperature, Dams, and Contaminants, Affect Marine Survival of Salmon. American Fisheries Society Symposium. 69 p.
- MEDDE, 2013. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, *Direction du suivi de l'état de l'environnement*, 2e édition. 88 p.
- Metcalf J. L. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60 : 101-139.
- Metcalf-Smith J. L., 1996. Biological water-quality assessment of rivers: use of macroinvertebrate communities. In Petts G. and Calow P. (Eds.). River restoration. Oxford, UK, Blackwell Science : 17-43.
- Moisan J. et Pelletier L., 2011. *Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs*. 39 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 macro invertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds”. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Monoury E., 2013. Fonctionnement écologie des zones de dépôt dans les ruisseaux : contribution des invertébrés aux processus de décomposition des litières et de bioturbation. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (France). 189 p.
- Moretti M. S. & Callisto M., 2005. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. *Acta Limnol. Bras.*, 17: 267-281.

- Mouillot D., Spatharis S., Reizopoulou S., Laugier T., Sabetta L., Basset A., Chi T. D., 2006. Alternatives to taxonomic-based approaches to assess changes in transitional water communities. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 469-482.
- Nahmani J. & Rossi J. P., 2003. Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *Comptes Rendus de Biologie*, 326: 295-303.
- Ndakala Mukungilwa P., Bisimwa Mubwebwe A., Masilya Mulungula P., and Ngera Mwangi F., 2015. Etude de la macrofaune aquatique de la rivière Kalengo. Sud-Kivu. République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* 13 (2) :88- 397.
- Ndourwe Far B., 2021. Caractérisation par les macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau dans la région du Littoral : Ndog bissolo. *Mémoire de Master Faculté des Sciences. Université de Yaoundé 1*. 64 p.
- Ngoay-Kossy J. C., 2018. Diversité des macroinvertébrés benthiques et qualité physicochimique des eaux de deux ruisseaux : Nguito et Pala en Republiques Centrafricaine (RCA). Thèse de doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé 1. 157 p.
- Norris R.H., Georges, A. 1986. Design and analysis for assessment for water quality. *Limnology in Australia*, 61 : 555-572.
- Nwaha M., 2018. Etude de la communauté des macroinvertébrés benthiques et physico-chimie des eaux du cours d'eau Ndongo à Buea (Sud-Ouest, Cameroun). *Mémoire de master. Faculté des Sciences Université de Yaoundé 1*. 50p.
- 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.
- Nyamsi Tchatcho N.L., Foto Menbohan S., Zébazé Togouet S.H., Onana Fils M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yémélé Tsago C., Koji E et 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 de Centre Sud forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123 : 412-430.
- Organisation Mondiale du Développement (OMD), 2010. *Rapport régional de progrès des objectifs du millénaire pour le développement région du Sud*.
- Ouro-Boya Boukari S., 2004. Evaluation de l'état d'une eau de rivière par l'analyse multidimensionnelle utilisant des paramètres caractéristiques de la matière organiques dissoute. *Thèse de Doctorat, Université de Poitier, France*. 216p.

- Palmer M. A., Ambrose R. F., et Poff N. LR., 1997. Ecological Theory and Community Restoration Ecology. *Restoration Ecology* 5(4) : 291–300.
- Park Y.S., Céréghino R., Compin A. et Lek S., 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect's species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 265-280.
- Peter H., Gleick et Meena palaniapan, 2010. *Peak water-limits to freshwater with drawal and use, proceeding of the National Academy of Science : 11155 – 11162.*
- 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.
- Pöllabauer 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.
- Poncet H. T., 2014. Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse. 256p.
- Pourriot R., Capblancq J., Champ P. et Meyer J. A., 1982. Ecologie du plancton des eaux continentales. Masson, Paris. 197 p.
- Prommi T. & Payakka A., 2015. Aquatic insect biodiversity and water quality parameters of streams in Northern Thailand. *Sains Malaysiana*, 44 : 707-717.
- Reid D.J., Lake P.S. et Quinn G.P. 2013. Influences of agricultural land use and seasonal changes in abiotic conditions on invertebrate colonization of riparian leaf detritus in intermittent streams. *Aquatic Sciences*, 75: 285-297.
- Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau. 8<sup>e</sup> édition, DUNOD, Paris. 1384 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. et Coll., 2009. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires. Eaux de mer. 9<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris. 1526 p.*
- Rosenberg D.M et Resh V.H., 1993. Introduction to the freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg D.M. and Resh V.H. (eds.) *freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, Chapman and all, New-York : 1-9.
- Samba H., 2008. Eau et écosystème aquatique, des indicateurs intégrateurs. In CRE-Maurice, l'agroenvironnement en Maurice : les Indicateurs de nos actions.

- Scheurer K., Alewell C., Bänninger D. & Burkhardt-Holm P., 2009. Climate and land-use changes affecting river sediment and brown trout in alpine countries a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 16 : 232-242.
- Serghini A., Fekhaoui M., El ABIDI A., El Blidi S. et Ben Akkame R., 2010. Caractérisation hydrochimique d'un site Ramsar : le complexe zones humides de Mohammedia (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 2010, 32 (2) : 133-145.
- Shannon C. E. et Weaver W., 1949. *The mathematical theory of communication*. University Illinois press, Urbana. 117p.
- Shelly S. Y., Mirza Z. B. and Bashir S., 2011. Comparative ecological study of aquatic macroinvertebrates of Mangla dam and Chashma barrage wetland areas. *Journal of Animal and Plant Science*, 21 : 340-350.
- Shiklomanov I. A. et Rodda J. C., 2003. *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Sighomnou D., 2004. Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau. *Thèse de Doctorat d'Etat, en Sciences Naturelles, Université de Yaoundé I*. 292p.
- Stals R. et De Moor I. J., 2007. *Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 10: Coleoptera*. Water Research Commission Report. No. TT 320/07. Pretoria. 263 p.
- Stark J. D., Boothroyd K. G., Harding J. S., Maxted J. R. et Scarsbrook M. R., 2001. *Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams*. New Zealand Macroinvertebrates working group. Report no 1. 57 p.
- St-Onge I., Bérubé P. et Magnan P., 2001. Effets des perturbations naturelles et anthropiques sur les milieux aquatiques et les communautés de poissons de la forêt Boréale : Rétrospective et analyse critique de la littérature. *Le Naturaliste Canadien*. 125 (3) : 81-95
- Suchel B., 1987. *Les climats du Cameroun*. Thèse Doctorat D'état. Université de Bordeaux III. 186p.
- Tachet H, Bournaud M. et Richoux P., 1987. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces, *Systématique élémentaire et aperçu écologique, 3ème édition*. 151 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P., 2006. *Invertébrés d'eau douce : systématique. Biologie et écologie*. CNRS édition. Paris. 588 p
- Tachet, H., Bournaud, M., Richoux, P. & Usseglio-Polatera P., 2010. *Invertébrés des eaux douces : Systématique, Biologie, Ecologie*. Ed CNRS-Paris.

- Tchakonte S., Ajeegah G.A., Diomande D., Camara A. I. et Ngassam P., 2014. Diversity, dynamic and ecology of freshwater snails related to environmental factors in urban and suburban streams in Douala–Cameroon (Central Africa), *Aquat Ecol* 48 : 379–395.
- Tchakonte S., 2016. Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). *Thèse de Doctorat/PhD*, Université de Yaoundé I. 179 p.
- Tchakonté S., 2016. Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun), *Thèse de Doctorat/ph.D en biologie des organismes animaux*, Université de Yaoundé I. 205p.
- Tchouapi Y. L., 2016. *Distribution des macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau forestier du bassin versant du Nyong à Mbalmayo: le Mbeme. Mémoire de master. Faculté des Sciences Université de Yaoundé I.* 74p.
- Tefiani valette, 2000. *L'eau, élément fondamental* : 1-20.
- Tenkiano N., 2017. Macroinvertébrés benthiques et hyphomycètes aquatiques : diversité et implication dans le fonctionnement écosystémique des cours d'eau de Guinée. Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier (France). 226p.
- Ter Braak C.J.F et Smilauer P., 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Window user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York, USA. 351 p.
- Ternois V., 2004. Programme << Gestion durable des Etangs de la Champagne-Humide>>. Evaluation du patrimoine entomologique des étangs piscicoles (Odonates, Orthoptères, Lépidoptères rhopalocères, ...). *CPIE du pays de Soulaines /Parc Naturel Régional de la forêt d'Orient – cellule "Etang"*. 87p.
- Ternois V., 2005. *Leucorrhonia caudalis* (Charpentier, 1840) : espèce nouvelle pour le Parc naturel régional de la et l'Aube (Odanata, Anisoptera, Libellulidae). Tome 21, fascicule 3, *Martinia*, 21 (3) : 115-121.
- Thomas F., Folgarait P., Lavelle P. & Rossi J. P., 2004. *Soil macrofaunal communities along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. Applied Soil Ecology*, 27: 23-29.
- Toft J. D., Simenstad C. A., Cordell J. R. And Grimaldo L. F., 2003. The Effects of Introduced Water Hyacinth on Habitat Structure, Invertebrate Assemblages, and Fish Diets. *Estuaries*, 26 (3) : 746–75.

- Tuffery G., 1980. Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes ; Révélateurs biologiques de la pollution : *La pollution des eaux continentales ; Incidence sur les biocénoses aquatiques*, Paris, Bordas. 88p.
- Usseglio-Polatera P, Bournaud M, Richoux P, Tachet H. 2000. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? *Hydrobiologia* 422 (42) : 153–162.
- Van den Brink P. J., Alexander A. C., Desrosiers M., Goedkoop W., Goethals P. L. M., Liess M., Dyer S. D., 2011. Traits-based approaches in bioassessment and ecological risk assessment: Strengths, weaknesses, opportunities and threats. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7: 198-208.
- Vannote R.L, Minshall G.W, Cummins K.W, Sedell J.R et Cushing C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.
- Vervier, P., Gibert, J., Marmonier, P., Dole-Olivier, M.-J., 1992, A perspective on the permeability of the surfacefreshwater-groundwater ecotone, *Journal of the North American Benthological Society*, 11: 93-102.
- Ward J. H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58 : 1-236.
- Wasson JG, Chandesris A, Pella H. 2004. Hydro-écorégions de la Guadeloupe. Proposition de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport Cemagref. 20 p.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd edn). Academic Press: New York. 1006 p.
- Williams W. T., Lance G. N., Dale M. B. ET Clifford H.T., 1971. Controversy concerning the criteria for taxonomic strategies. *Computer Journal*, 14 : 1-162.
- Worm B. , Barbier E.B., Beaumont N, Duffy J.E; Folke C., Halpern B.S., Jackson J.B.C., Lotze H.K., Micheli F., Palumbi S.R., Sala E., Selkoe K.A., Stachowicz J.J., & Watson R., 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314 : 787-790.
- Xu M, Wang Z., Duan X. and Pan B., 2014. Effects of pollution on macroinvertebrates and water quality bio-assessment. *Hydrobiologia*, 729 : 247-259.
- Yapo M. L., Atse Boua C., Kouassi P., 2012. Inventaire des insectes aquatiques des étangs de piscicoles au sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 58 : 4208– 4222.



Zébazé-Togouet S.H., 2000. Biodiversité et dynamique des populations du zooplancton (Ciliés. Rotifères. Cladocères et Copépodes) au lac municipal de Yaoundé (Cameroun). *Thèse de 3ème cycle. Université de Yaoundé I (Cameroun). 175 p*

## **ANNEXES**

**Annexe 1 : Niveau de qualité des prélèvements physicochimiques selon la grille de qualité des eaux modifiée**

Cours d'eau	Mois	Temp	pH	O2	Cond	MES	Coul	Turb	NO3	PO4	NH4	Oxyda
<b>Métyi</b>	Dec 2018	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Orange	Blue	Green	Green	Green	Blue
	Jan	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Orange	Blue	Green	Green	Green	Blue
	Fev	Green	Green	Green	Blue	Green	Orange	Blue	Green	Red	Red	Blue
	Mar	Green	Yellow	Orange	Blue	Red	Red	Red	Blue	Orange	Red	Blue
	Avr	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Red	Green	Blue	Yellow	Green	Blue
	Mai	Green	Yellow	Yellow	Blue	Green	Red	Green	Blue	Green	Green	Blue
	Juin	Green	Orange	Orange	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Yellow	Green	Green
	Juil	Green	Yellow	Orange	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Yellow	Green	Blue
	Aout	Green	Yellow	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Green	Green	Green	Blue
	Sept	Green	Green	Orange	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Green	Green	Blue
	Oct	Green	Orange	Red	Blue	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Blue
	Nov	Green	Blue	Red	Blue	Green	Red	Green	Blue	Yellow	Green	Blue
	Dec 2019	Green	Blue	Orange	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Green	Green	Blue
<b>Bengo</b>	Dec 2018	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Blue	Blue	Green	Green	Blue
	Jan	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Orange	Green	Blue	Green	Green	Blue
	Fev	Green	Yellow	Green	Blue	Green	Orange	Blue	Green	Red	Red	Blue
	Mar	Yellow	Blue	Yellow	Blue	Red	Yellow	Red	Green	Orange	Red	Blue
	Avr	Green	Orange	Yellow	Blue	Green	Orange	Green	Blue	Yellow	Green	Blue
	Mai	Green	Blue	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Blue	Green	Blue
	Juin	Green	Blue	Yellow	Blue	Green	Orange	Blue	Blue	Blue	Green	Blue
	Juil	Green	Green	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Yellow	Green	Blue
	Aout	Green	Green	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Green	Yellow	Green	Blue
	Sept	Yellow	Green	Yellow	Blue	Green	Orange	Blue	Blue	Green	Green	Blue
	Oct	Yellow	Green	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Green	Green	Blue
	Nov	Yellow	Blue	Orange	Blue	Green	Orange	Blue	Blue	Yellow	Green	Blue
	Dec 2019	Green	Green	Yellow	Blue	Green	Orange	Blue	Blue	Green	Green	Blue
<b>Sounou</b>	Dec 2018	Green	Orange	Green	Blue	Green	Orange	Green	Green	Green	Green	Blue
	Jan	Green	Orange	Green	Blue	Green	Red	Green	Blue	Green	Green	Blue
	Fev	Green	Orange	Green	Blue	Green	Orange	Green	Green	Red	Red	Blue
	Mar	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Red	Orange	Red	Blue	Green	Red	Blue
	Avr	Green	Orange	Yellow	Blue	Green	Red	Green	Blue	Green	Green	Blue
	Mai	Green	Orange	Orange	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Green	Green	Blue
	Juin	Green	Yellow	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Yellow	Green	Green
	Juil	Green	Orange	Red	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Yellow	Green	Blue
	Aout	Green	Orange	Yellow	Blue	Green	Red	Blue	Blue	Green	Green	Blue

	Sept	Vert	Orange	Orange	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
	Oct	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Vert	Bleu	Vert	Bleu
	Nov	Vert	Bleu	Orange	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Bleu	Jaune	Vert	Bleu
	Dec 2019	Vert	Rouge	Orange	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
<b>Lo'o</b>	Dec 2018	Vert	Orange	Vert	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
	Jan	Vert	Orange	Vert	Bleu	Vert	Orange	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
	Fev	Vert	Orange	Vert	Bleu	Jaune	Rouge	Bleu	Vert	Rouge	Rouge	Bleu
	Mar	Vert	Vert	Jaune	Bleu	Rouge	Orange	Rouge	Bleu	Vert	Rouge	Bleu
	Avr	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Vert	Rouge	Vert	Bleu	Jaune	Vert	Bleu
	Mai	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Vert	Rouge	Bleu	Bleu	Bleu	Vert	Bleu
	Juin	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Bleu	Orange	Bleu	Bleu	Bleu	Vert	Bleu
	Juil	Vert	Jaune	Orange	Bleu	Bleu	Rouge	Bleu	Bleu	Jaune	Vert	Bleu
	Aout	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Bleu	Rouge	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
	Sept	Vert	Vert	Orange	Bleu	Bleu	Rouge	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu
	Oct	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Bleu	Orange	Bleu	Vert	Vert	Vert	Bleu
	Nov	Vert	Bleu	Orange	Bleu	Vert	Orange	Bleu	Bleu	Jaune	Vert	Bleu
	Dec 2019	Vert	Orange	Jaune	Bleu	Vert	Orange	Bleu	Bleu	Vert	Vert	Bleu

Légende :

Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Classe d'amplitude	Très bonne	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise

## Annexe 2 : Valeur minimale, maximale, moyenne et écart-type des paramètres physicochimiques mesurés durant la période d'étude

Cours d'eau		Température (°C)	pH (UC)	Oxygène (%)	TDS (mg/l)	Conductivité (µc/cm)	MES (mg/l)	Couleur (Pt.Co)	Turbidité (FTU)	Alcalinité (mg/l)	CO <sub>2</sub> dissoud (mg/l)	Nitrates (mg/l)	Orthophosphates (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Oxydabilité (mg/l)
Métyi	Minimum	22,30	4,30	8,00	10,00	10,00	1,00	76,00	1,00	1,00	0,88	0,35	0,00	0,07	0,20
	Maximum	25,40	7,51	85,00	30,00	60,00	393,00	518,00	239,00	4,00	33,44	4,90	5,09	19,00	6,60
	Moyenne	24,11	5,87	53,14	12,18	25,38	39,38	261,59	28,96	1,96	8,66	1,65	0,80	1,85	1,52
	Ecart type	0,77	0,76	22,53	5,71	9,06	97,52	92,56	59,33	0,84	7,75	1,05	0,98	4,23	1,48
Bengo	Minimum	23,40	5,08	38,00	20,00	70,00	1,00	33,00	2,00	2,00	0,88	0,20	0,01	0,03	0,00
	Maximum	25,80	8,11	90,00	90,00	170,00	383,00	336,00	233,00	18,00	28,16	5,00	5,42	14,00	4,15
	Moyenne	24,52	6,34	63,79	63,85	124,36	38,97	182,79	26,82	4,51	7,42	1,55	0,85	1,36	1,11
	Ecart type	0,58	0,68	14,20	14,44	26,24	98,90	67,20	56,85	2,63	7,66	1,02	1,25	3,15	1,08
Sounou	Minimum	21,80	2,29	0,00	10,00	20,00	3,00	84,00	2,00	1,00	0,00	0,45	0,01	0,07	0,00
	Maximum	25,20	7,66	89,30	30,00	50,00	393,00	373,00	235,00	10,00	38,72	4,43	8,10	13,00	4,54
	Moyenne	23,52	5,30	55,82	11,28	25,38	39,08	257,69	31,00	2,26	7,10	1,51	0,79	1,58	1,37
	Ecart type	0,89	0,99	22,65	4,09	6,82	100,13	74,27	58,62	1,55	9,31	0,99	1,56	3,44	1,07
Lo'o	Minimum	22,10	4,55	15,00	10,00	20,00	0,00	118,00	0,00	1,00	0,88	0,39	0,00	0,06	0,00
	Maximum	25,10	8,31	88,90	20,00	50,00	392,00	394,00	229,00	12,00	35,20	4,00	10,52	19,00	2,37
	Moyenne	23,48	5,63	61,09	12,56	27,69	38,15	197,59	25,28	2,72	8,97	1,35	0,88	2,07	0,91
	Ecart type	0,76	0,89	16,77	4,42	8,42	100,02	51,72	59,32	1,89	9,95	0,85	2,06	4,81	0,70
Global	Minimum	21,80	2,29	8,00	10,00	10,00	0,00	33,00	0,00	1,00	0,00	0,20	0,00	0,03	0,00
	Maximum	25,80	8,31	90,00	90,00	170,00	393,00	518,00	239,00	18,00	38,72	5,00	10,52	19,00	6,60
	Moyenne	23,90	5,78	58,79	24,97	50,71	38,90	224,92	28,01	2,86	8,04	1,51	0,83	1,71	1,23
	Ecart type	0,87	0,91	19,10	23,99	45,15	98,19	80,37	58,01	2,08	8,67	0,98	1,50	3,93	1,13

**Annexe 3 :** Quelques images de macroinvertébrés benthiques récoltés dans le département de la Mvila durant la période d'étude



# Water Quality Assessment of Some Forest Streams in the South Region of Cameroon

Nwaha M.<sup>1</sup>, Foto Menbohan S.<sup>2</sup>, Nyame Mbia D.<sup>3</sup>, Biram à Ngon E.<sup>4</sup>, Temgoua Z. M. A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: mathiasnwhah93@gmail.com)

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

<sup>3</sup>(Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email:)

<sup>4</sup>(Hydrological Research Centre, Institute of Geological and Mining Research, Yaounde, Cameroon,  
Email: birame.eric@yahoo.fr)

<sup>5</sup>(Department of Animals Biology and Physiology, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon  
Email: anitatemgoual@gmail.com)

\*\*\*\*\*

## Abstract:

The localities of Azem and Mvam Essakoe in Mvila department were chosen to host a study whose goal was to characterize the water of four forest streams. The results showed that water is slightly acidic ( $5.78 \pm 0.91$  UC), with a low oxygen saturation rate ( $58.79 \pm 19.10\%$ ), and slightly alkaline ( $2.86 \pm 2.08$  mg/l) with low nitrates level ( $1.51 \pm 0.98$  mg/l). The benthic macroinvertebrates showed a high taxonomic richness with 174 taxa; including 3 phyla, 5 classes, 11 orders and more than 62 families. This macrobenthic fauna is dominated by insects (63.67% of relative abundance), followed by crustaceans (33.29% of relative abundance) and at the end came gastropods bivalves and oligochaetes. The diversity index of Shannon & Weaver, the Equitability index of Piélou and the one of Simpson reveal a rich and diversified population.

**Keywords** — Forest streams, taxonomic richness, macrobenthic fauna, diversity index

\*\*\*\*\*

## I. INTRODUCTION

Since the 19th century, rivers, particularly in industrialized countries and also countries in the process of industrialization, have been seriously affected by different types of pollution (industrial, urban and agricultural) [34]. To assess these major risks that may affect aquatic environments, two tools are often used [4]. The first, which is the oldest and most used till today, is the physicochemical analysis. The second tool, based on an ecosystem approach to disturbance, uses biological organisms [4]. For a better assessment of

water quality, new synthetic approach combine both physicochemical and biological components pursue. This method is already used around the world and provide the best information concerning the health status of watercourses.

Thus, monitoring and evaluation programs integrating biological material took place in Europe at the beginning of the 20th century, when ecosystem degradation had become a threat to the health of human populations. Among the biological material used for monitoring aquatic environments, macroinvertebrates are most frequently cited. These organisms have advantages of being mostly



dependent on the environment, responding rapidly to stresses and being one of the first element in the food chain of watershed [35]. Moreover, there is a certain persistence in these organisms which allows them to testify more or less old pollution. Their life cycles are relatively long and can cover more than four years [31]. These specific behavior enable them to become the best bioindicators of the aquatic ecosystems [35].

This study aims to characterize four waterstreams in the Southern region of Cameroon, using benthic macroinvertebrates.

## II. MATERIAL AND METHODS

### Study area

This study was carried out in South region of Cameroon in Mvila department. Covering a surface of 47 191 km<sup>2</sup>. This region is characterized by equatorial climate with four unequal seasons [30] distributed as follows: a long dry season from mid-November to mid-March, a small rainy season from mid-March to the end of June, a small dry season from July to August and a long rainy season from September to mid-November [30]. The annual precipitation average is approximately 1710 mm and the monthly temperature around 25° ± 0.97°C. The relief is dominated by the southern plate of Cameroon, with altitudes who varying between 0 m and 1000 m. In South region, we have yellow and red ferralitic soil [10]. The vegetation is characterised by the wet dense forest comprising in two variants : the sempervirent forest of Congo or Dja and ombrophilous forest with low altitude of littoral, and the semi-deciduous forest with medium altitude (marshy forest). The hydrographic network is dense and constituted by two important watersheds : the Atlantic and Congo watersheds [10]; [23].

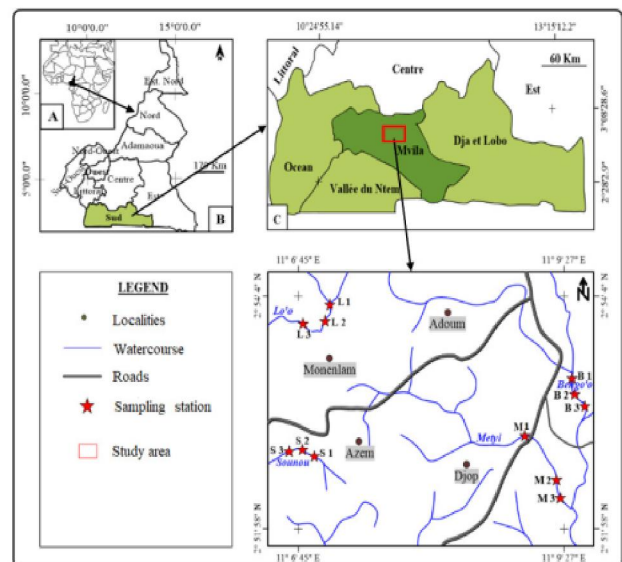


Figure 1: Sampling station in different streams in Mvila department [15], modified.

### Sampling and analysis physicochemical variables

The evaluation of physicochemical parameters was done following the recommendations of [2] ; [25]. Thus, temperature (°C). dissolved oxygen (%) and pH(UC) were measured *in situ* using a portable multimeter HANNA HI 991301.

In the laboratory, orthophosphates, mineral form of nitrogen, suspended solids, color and turbidity were determined by colorimetry using the Hydrotest photometer HT1000, and the alkalinity by volumetry. The results were given in mg/l and NTU. Oxidability was also measured volumetrically. In a 500 ml Erlenmeyer flask, 200 ml of raw water sample was introduced, followed by 2 ml of monosodium carbonate, and the whole was brought to the boil. Immediately after boiling, 20 ml of KMnO<sub>4</sub> N/80 was added. Ten (10) minutes after boiling started, the Erlenmeyer flask was cooled with running water, then 5 ml of 25 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 20 ml of Mohr's salt were added. The decolorated sample was then titrated with KMnO<sub>4</sub> N/80 to pink. The oxidability expressed in mg/l of O<sub>2</sub> is obtained by the formula:

$$\text{Oxidability (mg/L of O}_2\text{)} = \frac{q - q_0}{2} \times 3.95$$



$q$  = burette run of the sample and  $q_0$  = burette run of the control.

(L2, July) and 25.10° C (L2, March) with an overall average of 23.48 ± 0.76° C ( $p < 0.05$ ).

### **Sampling of Benthic Macroinvertebrates**

The collection of benthic macroinvertebrates was done monthly from December 2018 to May 2019, according to multi-habitat approach [28], using a kick-net (30 cm x30 cm side, 400µm mesh size). Thus, in each station, 20 drags of kick-net were done in different microhabitats, corresponding to a surface of 3 m<sup>2</sup>. The contents of each sample were introduced into polyethylene vials containing 10% formalin. In the laboratory, samples were rinsed with tap water and organisms were identified under a binocular stereomicroscope WILD M3B, using appropriate identification keys of [9] ; [32] ; [13] ; [6] ; [7] ; [27] ; [19].

### **Data analysis**

The normality of the distribution was used to Shapiro test, while those of Kruskal-Wallis and Mann-Whitney were chosen to significance test ( $p < 0.05$ ) sustained by the XLSTAT version 2007. The Principal Component Analysis (PCA) established the relationship between environmental variables and abundance of benthic macroinvertebrates. Some ecological index as Shannon and Weaver, Simpson and Piélou equitability index were used to determine the structure of the population. Also, Organic Pollution Index (OPI) and Normalised Global Biological Index (NGBI) was done.

## **III. RESULTS AND DISCUSSION**

### **Results**

#### **Temperature**

In Metyi stream, temperature values ranged from 22.30° C (M3, February) to 25.40° C (M2, October), oscillating around an average of 24.11 ± 0.77 ° ( $p > 0.05$ ). In Bengo'o stream, the temperature varied from 23.40° C (B3, February) to 25.80) C (B3, October). The mean value is 24.52 ± 0.58° C (Table I) ( $p < 0.05$ ). In Sounou stream, temperature values varied between 21.80° C (S2, July) and 25.20° C (S2 and S3, March). with overall average temperature of 23.52 ± 0.88° C ( $p < 0.05$ ). In Lo'o Stream, temperatures is located between 22.10° C

### **Hydrogen potential (pH)**

In Metyi watercourse, pH ranged from 4.30 CU (M3, April) to 7.51 CU (M1, November). The average pH value is 5.87 ± 0.76 CU. ( $p < 0.05$ ). In Bengo'o stream, the pH varied from 5.08 CU (B2, February) to 8.11 CU (B1, November) with an average of 6.34 ± 0.68 CU ( $P < 0.05$ ). In Sounou stream, pH was located between 2.29 CU (S3, December 2019) and 7.66 CU (S3, November) with an average of 5.30 ± 0.1 CU ( $p < 0.05$ ). In Lo'o watercourse, pH values fluctuated between 4.55 CU (L3, October) and 8.31 CU (L1, November). With an average of 5.63 ± 0.89 CU ( $p < 0.05$ ).

### **Dissolved oxygen**

In Metyi stream, dissolved oxygen ranged from 8% (M2, October) to 85% (M3, February) of 53.14 ± 22.53% ( $p < 0.05$ ). In the Bengo'o stream, dissolved oxygen rates ranged from 38% (B2, November) to 90% (B1, January), with an average of 63.79 ± 14.20 % ( $p < 0.05$ ). In Sounou stream, dissolved oxygen ranged from 11% (S2, July) to 89.30% (S1, December 2018) with an average of 57.13 ± 20.74% ( $p < 0.05$ ). In Lo'o stream, the values of dissolved oxygen were situated between 15% (L3, July) to 88.90% (L1, December 2018) with an average of 61.09 ± 16.77% ( $p < 0.05$ ).

### **Alkalinity**

In Metyi stream, alkalinity varied from 1mg/l (M1, M2, M3 in June, August, November and December 2019) to 4mg/l (M2, March and M1, October) with an average of 1.95 ± 0.84 mg/l ( $p < 0.05$ ). In Bengo stream, alkalinity values oscillated between 2 mg/l (B2 and B3, December 2018; B1, January and B1, September) and 18 mg/l (B3, April) with an average of 4.51 ± 2.63 mg/l ( $p > 0.05$ ). In Sounou stream, alkalinity data fluctuated between 1 mg/l (S1, S2, S3 August and December 2019; S1, November) to 10 mg/l (S3 April). In Lo'o stream. alkalinity oscillated between 1 mg/l (L1, August and November; L2, L3 in December 2019) and 12 mg/l (L3, April) with an average of 2.71 ± 1.89 mg/l ( $p < 0.05$ ).

**Nitrates**

In Metyi stream nitrates varied from 0.35 mg/L (M1, December 2019) and 4.90 mg/l (L3, February) with an average of  $1.64 \pm 1.05$  mg/l ( $p < 0.05$ ). In Bengo stream, nitrates data fluctuated between 0.2 mg/l (B2, June) and 5 mg/l (B1, March) with a mean value of  $1.55 \pm 1.02$  mg/l ( $p < 0.05$ ). In Sounou stream nitrate values fluctuated from 0.45 mg/l (S1, November) and 4.43 mg/l (S3, October) with a mean of  $1.51 \pm 0.98$  mg/l ( $p < 0.05$ ). In Lo'o stream, nitrate values oscillated from 0.39 mg/l (L2, December) to 4.00 mg/l (L1, February) with an average of  $1.34 \pm 0.84$  mg/l ( $p < 0.05$ ).

**Oxidability**

In Metyi stream, oxidability values ranged from 0.2 mg/l (M1, M2 July; M1 August and October) to 6.6 mg/l (M3 December 2018), with an average of  $1.51 \pm 1.47$  mg/l. ( $p < 0.05$ ). In Bengo stream, oxidability values fluctuated from 0.0 mg/l (B1, October) to 4.15 mg/l (B2, April) with a mean of  $1.1 \pm 1.08$  mg/l, ( $p < 0.05$ ). In Sounou stream, oxidability data ranged from 0.0 mg/l (S3, September) to 4.54 mg/l (S3, June) with an average of  $1.36 \pm 1.06$  mg/l, ( $p < 0.05$ ). In Lo'o stream, oxidability values fluctuated from 0.0 mg/l (L1, L3 August; L1, September; L2, L3, October) to 2.37mg/l (L3, March) with a mean of  $0.9 \pm 0.7$  mg/l. ( $p < 0.05$ ).

**Table I :** Minimum (Min), Maximum (Max), Mean value and Standard deviation of some environmental parameters in different streams during the study period

		Métyi	Bengo	Sounou	Lo'o	Global
Temperature (°C)	Min	22.30	23.40	21.80	22.10	21.80
	Max	25.40	25.80	25.20	25.10	25.80
	Mean	24.11	24.52	23.52	23.48	23.90
	Stand. dev.	0.77	0.58	0.89	0.76	0.87
pH (UC)	Min	4.30	5.08	2.29	4.55	2.29
	Max	7.51	8.11	7.66	8.31	8.31
	Mean	5.87	6.34	5.30	5.63	5.78
	Stand. dev.	0.76	0.68	0.99	0.89	0.91
Dissolved	Min	8.00	38.00	0.00	15.00	8.00

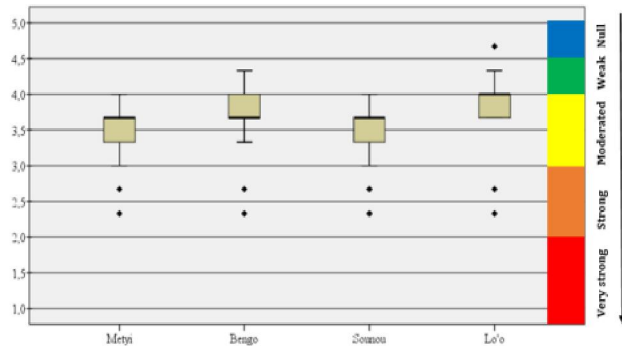
oxygen(%)	Max	85.00	90.00	89.30	88.90	90.00
	Mean	53.14	63.79	55.82	61.09	58.79
	Stand. dev.	22.53	14.20	22.65	16.77	19.10
TDS (mg/l)	Min	10.00	20.00	10.00	10.00	10.00
	Max	30.00	90.00	30.00	20.00	90.00
	Mean	12.18	63.85	11.28	12.56	24.97
	Stand. dev.	5.71	14.44	4.09	4.42	23.99
Alkalinity (mg/l)	Min	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00
	Max	4.00	18.00	10.00	12.00	18.00
	Mean	1.96	4.51	2.26	2.72	2.86
	Stand. dev.	0.84	2.63	1.55	1.89	2.08
Nitrates (mg/l)	Min	0.35	0.20	0.45	0.39	0.20
	Max	4.90	5.00	4.43	4.00	5.00
	Mean	1.65	1.55	1.51	1.35	1.51
	Stand. dev.	1.05	1.02	0.99	0.85	0.98
Oxydability (mg/l)	Min	0.20	0.00	0.00	0.03	0.00
	Max	6.60	4.15	4.54	19.00	6.60
	Mean	1.52	1.11	1.37	1.71	1.23
	Stand. dev.	1.48	1.08	1.07	3.93	1.13

**Organic Pollution Index (OPI)**

In Metyi stream, the Organic Pollution Index varied from 2.33 (March) to 4.00 (May) for an average of  $3.41 \pm 0.48$ , ( $p > 0.05$ ). In Bengo stream, the OPI varied from 2.33 (March) to 4.33 (May) with a mean of  $3.64 \pm 0.6$ , ( $p > 0.05$ ). In Sounou stream, the IPO values ranged from 2.33 (February) to 4.00 (September) for an average of  $3.46 \pm 0.50$ , ( $p > 0.05$ ). Finally, in Lo'o stream, the OPI varied from 2.33 (February) to 4.67 (July) with a mean of  $3.77 \pm 0.62$ , ( $p > 0.05$ ). (Figure 2).

In general, the Organic Pollution Index during the whole study period varied from 2.33 to 4.67, which indicates a moderate to weak level of environmental alteration.





**Figure 2:** Spatial variation of Organic Pollution Index

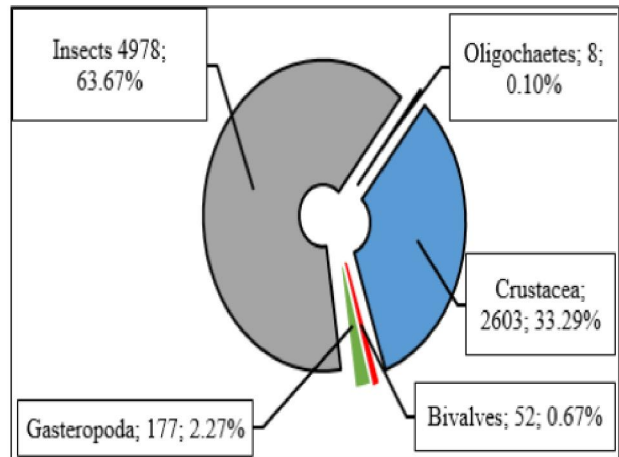
**Biological variables**

**Global taxonomic composition**

A total of 174 taxa were identified, divided into 3 phyla (Arthropods, Molluscs and Annelids), 5 classes (Crustacea, Insects, Gastropods, Bivalves and Oligochaetes), 11 orders and 62 families.

The Arthropods phylum is the most represented with 2 classes (Crustacea and Insects), 8 orders (Decapoda, Heteroptera, Coleoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata and Diptera), 55 families and 163 genera / species, followed by Molluscs with 2 classes (Gastropods and Bivalves), 2 orders (Mesogasteropods and Eulamellibranchs), 5 families and 5 genera / species and Annelids with 1 class (Oligochaete), 1 order and 2 families.

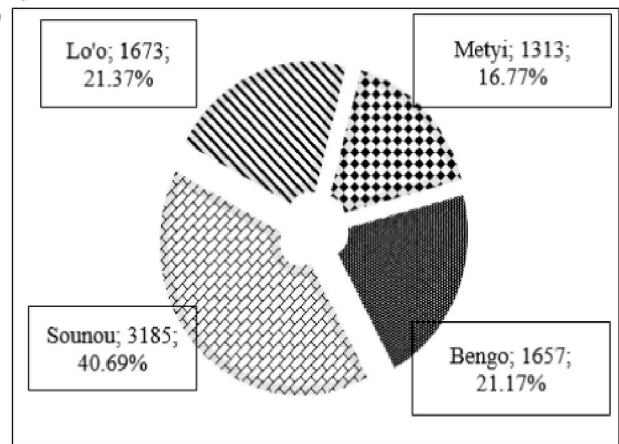
The class of Insects counts 4978 individuals (63.67% of relative abundance) and is divided into 7 orders (Heteroptera, Coleoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata and Diptera), 52 families and 159 genera / species. It is followed by the class of Crustacea with a total of 2603 individuals representing 33.29% of relative abundance. This class included 1 order (Decapoda), 3 families and 4 genera / species and in followed by the class of Gastropods with 177 individuals representing 2.26 % of relative abundance divided into 1 order (the Mesogasteropods), 3 families and 3 genera / species and the class of Bivalves and Oligochaetes with respectively 52 individuals (0.67 % of relative abundance) and 8 individuals (0.10 % of relative abundance) divided into 2 orders and 2 families. (Figure 3).



**Figure 3 :** Relative abundance of different class of benthic macroinvertebrates during the study period.

**Absolute and relative abundance**

Of the 7828 benthic macroinvertebrates collected throughout this study, 1313 individuals were recorded in Metyi stream corresponding to relative abundance of 16.77%, 1657 individuals in Bengo stream representing a relative abundance of 21.17%, 3185 individuals in Sounou stream equivalent to a relative abundance of 40.69% and 1673 in Lo'o stream corresponding to relative abundance of 21.37% of relative abundance (Figure 4).



**Figure 4:**Relative abundance of benthic macroinvertebrates collected at each stream during study period

Temporally, February appeared as the month of higher absolute abundance of 1358 individuals representing 17.35% of relative abundance, followed by the month of July with an absolute abundance of 889 individuals corresponding to a relative abundance of 11.36 %, the months of January with an absolute abundance of 853 individuals equivalent to a relative abundance of 10.90%, December with an absolute abundance of 749 individuals representing 9.57% of relative abundance, June with an absolute abundance of 889 individuals corresponding to relative abundance of 7.45%, August with 571 individuals (7.29% of relative abundance), May with 557 individuals (7.12% of relative abundance), October with 459 individuals (5.86% of relative abundance), November with 409 individuals (5.22% of relative abundance). The months of March, April and September were characterized by the least absolute and relative abundance (Table II).

**Table II** : Relative abundance of benthic macroinvertebrates collected at each month during study period.

Month	Absolute abundance	Relative abundance (%)
December-18	444	5.67
January	853	10.90
February	1358	17.35
March	351	4.48
April	348	4.45
May	557	7.12
June	583	7.45
July	889	11.36
August	571	7.29
September	257	3.28
October	459	5.86
November	409	5.22
December-19	749	9.57
Total	7828	100.00

### Principal Component Analysis (PCA)

The Principal Component Analysis (PCA) carried out on the constant, regular and ubiquitous taxa presents a factorial map with information presented on the first two dimensions (45.4%). Dimension 1 contained 28.5% information while dimension 2 contained 16.9% information. The factorial map allowed the different stations to be grouped into three large groups (I, II and III). Group I, located in the negative part of dimension 1 and the positive part of dimension 2, consisted of stations M1 and M2 of Métyi stream. Group II is located in the negative parts of dimensions 1 and 2, and consisted of stations B1, B2, B3, M3 and L3 of Bengo, Métyi and Lo'o stream respectively. Group III is located in the positive part of dimension 1 as well as in the negative and positive parts of dimension 2, and comprises stations S1, S2, S3, L1 and L2 of Sounou and Lo'o stream respectively (Figure 5).

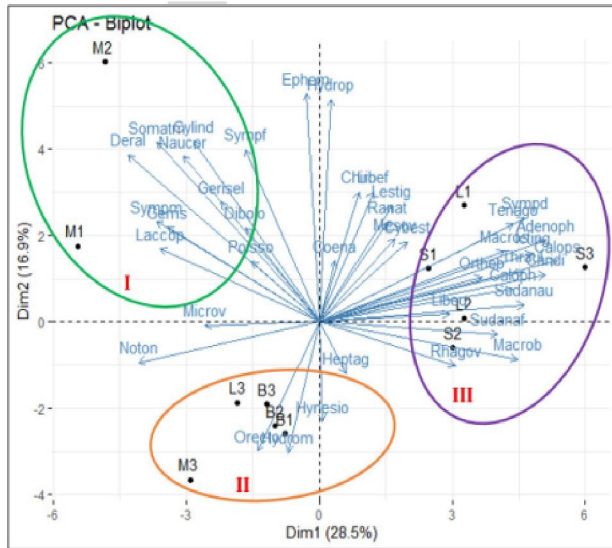
The factorial weights of the biological variables taken into account in the assemblage defined by the PCA reveal that more than half of the organisms were correlated to the first two dimensions (1 and 2). Thus, group I, consisting of stations M1 and M2, is characterised by organisms correlated negatively on dimension 1 and positively on dimension 2. These organisms have high affinities with the predominant chemical variables in these stations. The organisms that characterising this group were : *Derallus sp.*, *Cylindrostethus quadrivittatus*, *Somatochlora metallica*, *Sympetrum flaveolum*, *Sympetrum meridionale*, *Laccophilus sp.*, *Naucoris sp.*, *Gerrisella setembrinoi*, *Gerris sp.* (Figure 5).

Group II consisted of stations B1, B2, B3, M3 and L3, included organisms that were negatively correlated on dimensions 1 and 2. These organisms had favourable conditions for their development. The characteristic organisms of this group are : *Orectogyrus sp.*, *Hydrometra carayoni*, *Hynesionnella omer-cooperi*.

Group III consisted of stations S1, S2, S3, L1 and L2 and included organisms that are positively correlated on both dimensions (1 and 2) with the exception of 3 organisms that are positively correlated on dimension 1 but negatively correlated on dimension 2. The organisms that thrive in the conditions offered by the stations of this group III were *Sympetrum depressiusculum*, *Tenagonus*



*albovittatus*, *Adenophlebia* sp., *Macromia splendens*, *Calopteryx splendens*, *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Thraulius bellus*, *Orithetrum brunneum*, *Sudanaute aubryi*, *Sudanaute africanus*, *Caridina africana*, *Macrobrachium* sp., *Rhagovelia* sp., *Liebellula quadrimaculata* (Figure 5).



**Figure 5:** Principal Components Analysis (PCA) of physicochemical parameters during the study period

**Biocenotic index**

The values of Shannon & Weaver index vary from 3.29 bits/ind in Sounou stream to 4.48 bits/ind in Lo'o stream with an average of  $4.12 \pm 0.56$  bits/ind. Metyi and Bengo streams have Shannon & Weaver Index values of 4.24 bits/ind and 4.47 bits/ind respectively. The Kruskal Wallis test shows no significant difference between these values ( $p = 0.39$ ).

The equitability of Piélou has values varying from 0.50 bits/ind in Sounou stream to 0.68 bits/ind in Metyi and Bengo streams, with an average of  $0.63 \pm 0.08$  bits/ind. The Kruskal Wallis test shows no significant difference between the values of Piélou ( $p = 0.39$ ).

The values of Simpson's dominance index, fluctuate from 0.73 bits/ind in Sounou stream to 0.90 bits/ind in Bengo and Lo'o streams with an average of  $0.85 \pm 0.08$  bits/ind. The Kruskal Wallis test shows no significant difference between the Simpson index values ( $p = 0.39$ ).

The specific richness ranges from 74 taxa in Metyi stream to 107 taxa in Lo'o stream, for a mean of  $93.0 \pm 13.83$  taxa (Table III).

**Table III:** Some biocenotic index evaluated in different streams during the study period.

	Shannon et Weaver (H')	Piélou (J)	Simpson	Log2 (S)	Abundance	specific Richness (S)
Metyi (M)	4.24	0.68	0.88	6.21	1313	74
Bengo (B)	4.47	0.68	0.90	6.55	1657	94
Sounou (S)	3.29	0.50	0.73	6.60	3185	97
Lo'o (L)	4.48	0.66	0.90	6.74	1673	107

**Normalised Global Biological Index (NGBI)**

The Normalised Global Biological Index has very high values in the studied rivers. The results of the calculations are shown in the table below. In general, the IBGN shows a very good water quality in the different studied stream (Table IV).

**Table IV:** Normalised Global Biological Index values in different streams during study period

Streams	Metyi	Bengo	Sounou	Lo'o	Global
Variety class	14	14	14	14	14
Indicator group (GI)	5	7	7	7	7
IBGN	18	20	20	20	20
Quality	Very good	Very good	Very good	Very good	Very good

**Discussion**

**Physicochemical parameters**

The temperature of the streams varies very little overall ( $21.80^{\circ}\text{C} - 25.8^{\circ}\text{C}$ ). The low values recorded in the different streams could be explained by the vegetation cover of the different sampling stations. This temperature is similar to the one of the forest streams of Mabounié basin ( $20^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ ) in Gabon [18]the Abouda, Nga, Fam and Nkoumou streams ( $20.2^{\circ}\text{C} - 23.9^{\circ}\text{C}$ ) [3], the Ndog Bissolo stream ( $24^{\circ}\text{C} - 26.3^{\circ}\text{C}$ ) [21] and the Mbeme stream ( $20.5^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$ ) [33]. The significance of the Kruskal Wallis test ( $p < 0.05$ ) would be due to the time of sampling that was spread over the whole day. In this sense, [16]revealed that there is a linear relationship between water temperature and air

temperature. [29] conformed that the main source of heat in a forest stream is solar energy.

The slightly acidic average pH ( $5.78 \pm 0.91$  CU) of the waters in this region is close to the pH of the forest streams in Mabounié basin ( $6.25 \pm 0.62$  CU) in Gabon [18] and Nga, Abouda, Fam. and Nkoumou streams ( $5.37$ UC-  $7.72$  CU) [3]. This slight acidity of the waters would be due to humic acids in the absence of anthropic activities in the basin [18].

For the oxygen saturation rate the waters in this basin are less well oxygenated overall ( $58.79 \pm 19.10\%$ ). This low oxygenation of the waters could be explained by the low speed of the water, but also by the fishing activities carried out by the populations in the different rivers, by creating fishing weirs along the watercourse which modify strongly the speed as well as the flow of the water, being able to entail their stagnation. The low oxygenation of the waters in this basin contrasts with the oxygen saturation values of Mabounié basin ( $80.44 \pm 10.01\%$ ) in Gabon [18].

The low alkalinity values ( $2.86 \pm 2.08$  mg/l) of the different streams are attributable to the low mineralization and low acidity of the water. These values are closed to those obtained in the Nga, Abouda, Fam and Nkoumou stream ( $2 - 24.1$ mg/l) [3]. [17] ;[25] noted that variations in water alkalinity are closely related to the degree of mineralization and oxidation of organic compounds. The low nitrate values ( $1.5 \pm 0.98$ ) recorded in the different streams of the Mvila department would be related to the low mineralization of the organic matter present.

### **Biological parameters**

The qualitative analysis of the biological data of the streams shows a high taxonomic richness defined by 174 taxa divided into 3 phyla. 5 classes. 11 orders and 62 families. This taxonomic richness is nevertheless low compared to the taxonomic richness collected in Mabounié basin (202 taxa) in Gabon by [18] it is closed to that observed by [12] (197 taxa) in some peri-urban streams of the city of Yaoundé, but higher than that obtained in Nguitto and Pala streams (114 taxa) in Central African Republic [22]. The taxonomic richness obtained in

different streams could be explained by the nature of the substrate and the low water flow velocity. In fact, the high flow velocity can cause the drift on benthic macroinvertebrates. Whereas the low velocity hinder renewal of oxygen in the water and therefore the installation of certain polluo-sensitive groups. These observations were also made by [11], who emphasized that local factors (flow rate, bed width, water flow velocity, etc.) would be related to the assembly of fluvial forms in the channel, which also influences the macroinvertebrate community.

The high abundance of the class of insect with 63.67% recorded in this study is comparable to those collected in Kalengo River in DRC with 62.5% insects [20] and Agneby in Ivory Coast with 68% [8]. This predominance of insects could be explained by their genetic plasticity, cosmopolitanism and ability to colonize diverse ecological niches and translate the low degradation of study milieu [5] ; [14] and [24]. The high proportions of crustaceans (33.29%) in the streams is close to those observed in Ndog Bissono stream (55.60%) by [21]. This high relative abundance of crustaceans is linked to satisfactory oxygenation and abundance of litter that serves as refuge [32].

The benthic macroinvertebrates are most abundant in Sounou stream (40.69%), followed by Lo'o stream (21.37%) Bengo stream (21.17%) and Metyi stream (16.77%). The predominance of decapod crustaceans in Sounou stream can be explained by the low water column coupled with a very abundant litter, that favour their multiplication.

However, the high diversity of macroinvertebrates recorded in Lo'o stream (107 taxa) reflects an environment that has been little disturbed by human activity. These remarks had already been made by [1] who noted that a less altered environment or one with little anthropic pressure favours the installation of benthic macrofauna.

### **Biocenotic Index**

The values of the Shannon & Weaver index (3.29 bit/ind) and the Pielou equitability (0.50 bit/ind) recorded in Sounou stream reflect a low diversity of macroinvertebrates with a weak predominance of one group (Decapods). This leads to an imbalance in the macroinvertebrate population. In contrast,



Metyi, Bengo and Lo'o streams. which have Shannon & Weaver index values much closer to  $\text{Log}_2(S)$  values. show sufficiently high diversity and equitable distribution of organisms. Similar observations allowed Fisher et al. 1982 to emphasize that an high index of diversity creates the conditions of the environment that allow the installation and the maintenance of a balanced biological community, integrated and capable of adapting.

The organic pollution index shows that the watercourses studied as a whole were only slightly affected by human activities and were therefore of good ecological quality.

The Principal Component Analysis divided the benthic macroinvertebrates into three groups according to their affinities and their sensitivity to environmental components. To this end, the species of group III (*Sympetrum depressiusculum*, *Tenagogonus albobittatus*, *Adenophlebia sp.*, *Macromia splendens*, *Calopteryx splendens*, *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Thraulius bellus*, *Orithetrum brunneum*, *Sudanaute aubryi*, *Sudanaute africanus*, *Caridina africana*, *Macrobrachium sp.*, *Rhagovelia sp.*, *Liebellula quadrimaculata*), which included stations B1, B2, B3, L3, M3 ; S1, S2, S3, L1, L2, respectively whose waters are only slightly affected, could be considered as indicator taxa of good ecological quality of the watercourse. In the same way, the taxa in group II (*Orectogyrus sp.*, *Hydrometra carayoni*, *Hynesionnella omer-cooperi*.) could be considered as indicators of good ecological quality of the watercourse. Furthermore, the species as group II and III could integrate pollution-sensitive taxa.

#### IV. CONCLUSION

At the end of this work, a characterization of the waters of some forest streams in Mvila department was established. Thus, it emerges that in this locality, the waters are low temperatures due to the canopy, slightly acidic overall with a slightly low oxygen saturation due to fishing activities. The organic matter is weakly mineralized as reflected in the low values of nitrates and alkalinity. Biologically, the taxonomic richness has been

evaluated at 174 taxa divided into 3 phyla, 5 classes, 11 orders and more than 62 families. The organisms thus collected are dominated by insects which represent 63.67% of relative abundance, followed by crustaceans with 33.29% of relative abundance. The diversity index of Shannon & Weaver, the Equitability index of Piélou and the index of Simpson show a diversity of macroinvertebrates with a tendency to equipartition of the individuals in the most studied stream. At the end of these study, we can say that forest stream of the South region notably the department of Mvila, are of good ecological quality.

#### V. REFERENCES

- [1] Aazani J., Esmaili-Sari A., Abdoli A., Sohrabi H. & Van den Brink P. J., 2015. Monitoring and assessment of water health quality in Tajan River. Iran using physicochemical, fish and macroinvertebrates indices. *Journal of environmental health Science and Engineering*. 13(2) 60-69.
- [2] APHA., 1998. *Standard method for examination of water and wastewater*. American Public Health Association 20th edition. Washington. DC. 1150 p.
- [3] Biram à Ngon E. B., 2019. Etude bioécologique des dictyoptères aquatiques dans le bassin versant de la Mefou. *Thèse de doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I*. 150 p.
- [4] C. Z.Koudenoukpo, A. Chikou, S. H. Togouet Zebaze, N. Mvondo, R. U. S. Hazoume, P. K. Houndonougbo, G. A. Mensah And P. A. Laleye, 2017. *Zooplankton et Macroinvertébrés aquatiques : vers un assemblage de bioindicateurs pour un meilleur monitoring des écosystèmes aquatiques en région tropicale*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 20(1) : 276-287.
- [5] Caryou J., Compin A., Giani N. & Céréghino R., 2000. Association spécifique chez les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation pour la biotypologie des cours d'eau. Cas du réseau hydrographique d'Adour-Garonne (France). *Annales de Limnologie*. 36 : 189-202.

- [6] Day J. A., Harrison A. D. and 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. 200 p.*
- [7] De Moor I. J., Day J. A. and De Moor F. C., 2003. *Guides to the freshwater invertebrates of Southern Africa. Vol. 7: Insecta I. Ephemeroptera. Odonata & Plecoptera. Water Research Commission Report. No. TT 207/03. Pretoria. 288 p.*
- [8] Diomandé D., Kotchi Bony Y., Edia E., Konan K.F. et Gourène G., 2009. Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research. Vol 35. N°3. 368-377.*
- [9] Durand J. R. et Leveque C., 1991. *Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne. Tome II. Edition ORSTOM. Paris. 517 p.*
- [10] Ewane A. I., 2005. Analyse structurelle et préféabilité du projet d'aménagement du lac municipal d'Ebolowa. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I. Cameroun. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS). Sciences Environnementales. 60p.
- [11] Eyre M. D., Foster G. N., Luff M. L. & Russhton S. P., 2006. The definition of British water beetle species pool (Coleoptera) and their relationship to altitude, temperature, precipitation and land cover variables. *Hydrobiologia. 560 : 121-131.*
- [12] Foto Menbohan S., 2012. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : essai de biotypologie. *Thèse Doctorat d'Etat. Université Yaoundé I. 220 p.*
- [13] Heidemann H. et Seidenbusch R., 2002. *Larve et exuvies des libellules de France et d'Allemagne. 416p.*
- [14] Hepp L. U., Restelle R. M. & Milesi S. V., 2013. Distribution of aquatic insects in urban headwater streams. *Acta limnologica Brasiliensia. 25 : 1-9.*
- [15] INC., 1979. Carte topographique de Ebolowa et ses environs au 1/50000, Yaoundé : Institut Nationale de Cartographie, feuille 3d.
- [16] Kinouchi T., Yagi H. et Miyamoto M., 2007 : *Increase in stream temperature related to anthropogenic heat input from urban wastewater. Journal of Hydrology 335 : 78-88.*
- [17] Levêque C. et Balian, 2005. *Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream? Hydrobiologia. 542: 25-26.*
- [18] Mboye B. R., 2019. Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon) : Essai de biotypologie. *Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Université de Yaoundé I. 214 p.*
- [19] 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). 82p.*
- [20] Ndakala Mukungilwa P., Bisimwa Mubwebwe A., Masilya Mulungula P., and Ngera Mwangi F., 2015. Etude de la macrofaune aquatique de la rivière Kalengo. Sud-Kivu. République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research 13. 2:88- 397.*
- [21] Ndourwe Far B., 2021. Caractérisation par les macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau dans la région du Littoral : Ndog bissolo. *Mémoire de Master Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I. 64p.*
- [22] Ngoay-Kossy J. C., 2018. Diversité des macroinvertébrés benthiques et qualité physicochimique des eaux de deux ruisseaux : Nguitto et Pala en Républiques Centrafricaine (RCA). *Thèse de doctorat. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I. 157 p.*
- [23] Organisation Mondiale du Développement (OMD), 2010. *rapport régional de progrès des objectifs du millénaire pour le développement région du Sud.*
- [24] Prommi T. & Payakka A., 2015. Aquatic insect biodiversity and water quality parameters of streams in Northern Thailand. *Sains Malaysiana. 44 : 707-717.*
- [25] Rodier J., Legube B., Merlet N. et Coll., 2009. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles. eaux résiduaires. eaux de mer. 9ème édition. Dunod. Paris. 1526 p.*
- [26] S.H. Zébazé-Togouet, 2000. *Biodiversité et dynamique des populations du zooplancton (Ciliés. Rotifères. Cladocères et Copépodes) au lac*



- municipal de Yaoundé (Cameroun). Thèse de 3ème cycle. Université de Yaoundé I (Cameroun). 175 p.*
- [27] Stals R. et De Moor I. J., 2007. *Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 10: Coleoptera. Water Research Commission Report. No. TT 320/07. Pretoria. 263 p.*
- [28] Stark J. D., Boothroyd K. G., Harding J. S., Maxted J. R. et Scarsbrook M. R., 2001. *Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams. New Zealand Macroinvertebrates working group. report no 1. 57 p.*
- [29] St-Onge I., Bérubé P. et Magnan P., 2001. Effets des perturbations naturelles et anthropiques sur les milieux aquatiques et les communautés de poissons de la forêt Boréale : Rétrospective et analyse critique de la littérature. *Le Naturaliste Canadien. Vol. 125. 3: 81-95*
- [30] Suchel B., 1987. *Les climats du Cameroun. Thèse Doctorat D'état. Université de Bordeaux III. 186p.*
- [31] T. Henri, R. Philippe, B. Michel et U. Philippe U., 2010. *Invertébrés d'eau douce : systématique. biologie écologie*
- [32] Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P., 2006. *Invertébrés d'eau douce : systématique. biologie et écologie. CNRS édition. Paris. 588 p*
- [33] Tchouapi Y. L., 2016. *Distribution des macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau forestier du bassin versant du Nyong à Mbalmayo: le Mbeme. Mémoire de master. Faculté des Sciences Université de Yaoundé I. 74p.*
- [34] Y. Boissonneault. *Le suivi écologique des rivières du Québec : comparaison des bio-indicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques. Mémoire de maîtrise. Université de Trois-Rivières. Trois-Rivières. Québec. 137p. 2006.*
- [35] Y. Goaziou, 2004. *Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basées sur les macrinvertébrés benthiques. Rapport de stage. Québec. ministère de l'Environnement. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Envirodoq n°ENV/2004/0158. collection n°QE/146. 37p.*