

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTEMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT

**Hydrobiologie de deux cours d'eau temporaires en zone
soudano-sahélienne : macroinvertébrés benthiques du
Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao (Extrême-Nord,
Cameroun)**

THESE

Présentée et soutenue publiquement le 08 Décembre 2018 en vue de l'obtention du Doctorat/Ph.D en
Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

MADOMGUIA Diane

Matricule : 02U002

DEA en Biologie Animale

Option : Hydrobiologie et Environnement



Devant le jury composé de :

Président : NOLA Moïse, *Professeur*, Université de Yaoundé I

Rapporteurs : FOMENA Abraham, *Professeur*, Université de Yaoundé I

ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, *Maître de Conférences*, Université de Yaoundé I

Membres : AJEAGAH Gideon AGHAIDUM, *Maître de Conférences*, Université de Yaoundé I

KEKEUNOU Sévilor, *Maître de Conférences*, Université de Yaoundé I

EFOLE EWOUKEM Thomas, *Maître de Conférences*, Université de Yaoundé I.

Année 2018

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
ET PHYSIOLOGIE ANIMALES
DEPARTEMENT OF ANIMAL BIOLOGY
AND PHYSIOLOGY

BP 812 – TEL: (237) 222-22-56-59
FAX: (237) 222-23-53-88



FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

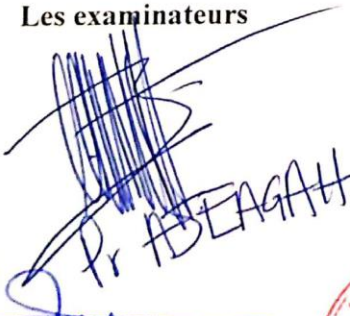
ATTESTATION DE CORRECTION

Nous, soussignés, membres du jury de soutenance de **Thèse de Doctorat/Ph.D** de Biologie des Organismes Animaux (option : **Hydrobiologie et Environnement**) de Madame **MADOMGUIA Diane**, Matricule : **02U002**, soutenance autorisée par correspondance **N°18/401/UYI/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SPD** de Monsieur le Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du **21/11/2018**, attestons que les corrections exigées à la candidate lors de cette évaluation faite le **08/12/2018** ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

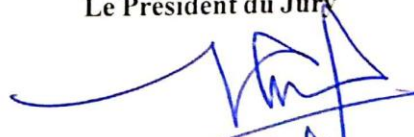
Fait à Yaoundé, le **08 MAR 2021**

Les examinateurs


Pr. ABEAGAH

Foulon KEKEUNOU, Ph.D
Associate Professor
University of Yaoundé I


Le Président du Jury


M. NOLA

Le Chef de Département




**Charles Félix
Bilong Bilong**
Professeur

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

LISTE PROTOCOLAIRE DE LA FACULTE DES SCIENCES

ANNÉE ACADEMIQUE 2020/2021

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 12 Juin 2020

ADMINISTRATION

DOYEN : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maitre de Conférences*

VICE-DOYEN / DPSAA : Alex de Théodore ATCHADE, *Maitre de Conférences*

VICE-DOYEN / DSSE : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

VICE-DOYEN / DRC : ABOSSOLO Monique, *Maitre de Conférences*

Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Marie C. F., *Maitre de Conférences*

Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche DAASR : MBAZE MEVA'A Luc Léonard, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)			
N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DIAGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUÉ Marcelline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
17	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
18	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
19	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
20	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
21	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

22	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
23	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Chargée de Cours	En poste
24	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
25	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
26	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
27	EWANE Cécile Anne	Chargé de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	BEBEE Fadimatou	Chargé de Cours	En poste
30	KOTUE KAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
31	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
32	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (46)

1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	VICE-DOYEN / DSSE
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	Vice Doyen/FMSB/UIYI
6	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
7	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
8	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
9	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
10	NOLA Moïse	Professeur	En poste
11	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
12	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE
13	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
14	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16	DZEUFUET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
18	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
21	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
22	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
23	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
24	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
25	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
26	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
27	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
28	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
29	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
30	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste

34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargé de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste
42	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
43	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
44	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
45	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
46	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste

3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)

1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
6	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
7	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
9	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Maître de Conférences	En poste
10	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	CT/ MINESUP
12	MBOLO Marie	Maître de Conférences	En poste
13	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	CE / MINRESI
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
16	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
17	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
18	DJEUANI Astride Carole	Chargée de Cours	En poste
19	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
20	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargée de Cours	En poste
21	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
22	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
23	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
24	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargée de Cours	En poste
25	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargée de Cours	En poste
26	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
27	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
28	KABELONG BANAHOU Louis-Paul-Roger	Assistant	En poste
29	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
30	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
31	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
32	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
33	TEMEGNE NONO Carine	Assistante	En poste

4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (34)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	Chef de Departement
2	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	Recteur Univ.Ngaoundere

4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	Ministre Chargé de Miss.PR
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	CT MINRESI
7	NGOMO Horace MANGA	Professeur	Vice Chancellor/UB
8	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	Vice-Doyen Univ. Bamenda
9	NENWA Justin	Professeur	En poste
10	NGAMENI Emmanuel	Professeur	DOYEN FS UDs
11	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	Chargée Mission P.R.
12	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
13	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
20	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
21	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
22	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO Gustave	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU Daouda	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO Katia	Chargé de Cours	En poste
28	NEBA née NDOIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
30	PABOUDAM GBAMBIE Awawou	Chargée de Cours	En poste
31	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
32	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
33	PATOUOSSA Issoufa	Assistant	En poste
34	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

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

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen /DSSE/ FSE
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NKENGFAK Augustin Ephrem	Professeur	Chef de Département
5	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste
6	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	Directeur/ MINESUP
7	WANDJI Jean	Professeur	En poste
8	ATCHADE Alex de Théodore	Maître de Conférences	VICE-DOYEN / DPSAA
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	Chef Service/MINESUP
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
20	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
21	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste

22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	Doyen /FS/ UYI
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
24	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
25	AMBASSA Pantaléon	Chargé de Cours	En poste
26	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
27	MVOT AKAK Carine	Chargée de Cours	En poste
28	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
29	NGOMO Orléans	Chargé de Cours	En poste
30	OUAHOUC WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
31	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
32	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
33	ZONDENDEGOUMBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
34	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste

6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (26)

1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	Chef Div.MINESUP
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP
3	NDOUNAM René	Maître de Conférences	En poste
4	AMINOUC Halidou	Chargé de Cours	Chef de Département
5	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
6	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
7	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
8	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
9	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
11	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
12	KAMGUEU Patrick Olivier	Chargé de Cours	En poste
13	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
14	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	C/D Enset. Ebolowa
15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
22	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
23	MAKEMBE. S. Oswald	Assistant	En poste
24	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
25	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
26	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)

1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	Inspecteur MINESUP
2	AYISSI Raoult Domingo	Maître de Conférences	Chef de Département
3	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
4	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	Chef Service Programme & Diplomes
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
7	AGHOUCENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
8	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste

9	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
10	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
11	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
12	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
13	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
14	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
15	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
16	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Chargé de Cours	En poste
17	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
18	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
19	NIMPA PEFOUNKEU Romain	Chargé de Cours	En poste
20	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
21	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
22	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
23	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
24	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargée de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
26	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
29	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
30	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste

8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)

1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	Chef de Dépt DRV/IMPM
2	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste
4	NYEGUE Maximilienne Ascension	Maître de Conférences	En poste
5	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
6	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
7	ASSAM ASSAM Jean Paul	Chargé de Cours	En poste
8	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
9	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
11	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
13	ESSONO Damien Marie	Assistante	En poste
14	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
15	MEYIN A EBONG Solange	Assistante	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste

9. DEPARTEMENT DE PHYSIQUE (PHY) (40)

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
3	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
4	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
5	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
6	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
7	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	Sous-Directeur/ MINRESI
8	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
9	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen Univ/Bda
10	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste

11	WOAFO Paul	Professeur	En poste
12	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
13	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Maître de Conférences	En poste
15	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Maître de Conférences	Chef Division. UN
16	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
17	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
18	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
19	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
20	NANA NBENDJO Blaise	Maître de Conférences	En poste
21	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
22	SAIDOU	Maître de Conférences	MINERESI
23	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
24	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
25	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
26	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	Sous-Directeur/ MINESUP
27	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
28	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
29	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
30	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Chargée de Cours	En poste
31	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
32	MBINACK Clément	Chargé de Cours	En poste
33	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
34	MEL'PI Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
35	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
36	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmalima
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
38	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
39	CHAMANI Roméo	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste

10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)

1	BITOM Dieudonné	Professeur	Doyen / FASA / UDs
2	FOUATEU Rose épse YONGUE	Professeur	En poste
3	KAMGANG Pierre	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
6	NGOS III Simon	Professeur	DAAC/Uma
7	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
8	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
9	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DRC
10	GHO GOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
11	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	CT/ MINIMDT
12	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
13	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
14	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	En poste
15	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	Directeur/Projet Barrage Memve'ele
16	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
17	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
18	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste

21	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	Chef Div. /MINTP
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	DG/ART
23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de Cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
28	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	Sec. D'Etat/MINMIDT
29	LAMILEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MBESSE Cécile Olive	Chargée de Cours	En poste
31	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
32	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	CD/Uma
34	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
36	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
37	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
38	TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM	Chargée de Cours	Chef.cell / MINRESI
39	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
40	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
41	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste
42	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
43	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	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 (1)	13 (08)	14 (06)	3 (2)	38 (17)
BPA	13 (1)	09 (06)	19 (05)	05 (2)	46 (14)
BPV	06 (0)	10 (02)	9 (06)	07 (01)	33 (9)
CI	10 (1)	09 (02)	13 (03)	03 (0)	34 (5)
CO	7 (0)	17 (04)	09 (04)	02 (0)	35 (8)
IN	2 (0)	1 (0)	14 (01)	9 (01)	26 (2)
MAT	1 (0)	5 (0)	19 (02)	05 (01)	30 (3)
MIB	1 (0)	5 (02)	06 (01)	06 (03)	18 (6)
PHY	11 (0)	16 (01)	10 (03)	03 (0)	40 (4)
ST	8 (1)	14 (01)	19 (05)	02 (0)	43 (7)
Total	67 (4)	99 (26)	132 (36)	45 (10)	343 (76)

Soit un total de **343 (76)** dont :

- Professeurs **67 (4)**
- Maîtres de Conférences **99 (26)**
- Chargés de Cours **132 (36)**
- Assistants **45 (10)**

() = Nombre de Femmes

DEDICACE

- ❖ à Stéphanie, Daphnia, Dora et Claude, mes filles
- ❖ à Andy mon fils
- ❖ en mémoire de feu POUOKAM Magloire, cette thèse est la continuité de tes œuvres.

REMERCIEMENTS

Cette thèse est l'aboutissement de sept années de travail, de 2010 à 2017. Sept années difficiles et captivantes au cours desquelles une de mes satisfactions est, en plus du bonheur que me procure cette thèse, d'avoir mis à la disposition des chercheurs et des acteurs de l'eau les premières informations sur l'hydrobiologie des cours d'eau temporaires de la zone soudano-sahélienne camerounaise. Je n'aurais jamais eu ces satisfactions si je n'avais reçu l'aide et le soutien de nombreuses personnes à qui je rends un vibrant hommage.

Au Professeur Fomena Abraham à qui je dois des remerciements sans limite. Je me souviens encore du jour de 2010 où il m'a acceptée dans son équipe de thésards alors que j'avais perdu espoir. Je le remercie pour tous ses enseignements scientifique et humain.

Au Professeur Zébazé Togouet Serge Hubert, pierre angulaire de cette thèse qui m'a proposé ce sujet. Il m'a tenue depuis mes premiers pas dans le monde de la recherche. Même lorsque je voulais abandonner par manque de moyens financiers et après la perte brutale de mon conjoint, il n'a cessé de me booster. Sa phrase « *Je crois en toi et compte sur toi* » a été plus qu'une thérapie pour guérir un être. Son voyage spécial sur Maroua dans le seul but de se familiariser avec mon site d'étude a été pour moi comme un moteur turbo installé dans ma machine de travail. Qu'il sache que par ce prompt geste et ses remarques, il a nourri en moi, la détermination à braver les contraintes pour la réussite de ce travail. Je lui témoigne une profonde estime et une reconnaissance infinie et le remercie pour le sérieux et la rigueur qu'il m'a inculquée durant toutes ces années. Il est un modèle pour moi.

Cette thèse ne pouvait se réaliser sur le site à Maroua si je n'avais obtenu du Directeur de l'Institut Supérieur du Sahel de l'Université de Maroua l'autorisation d'effectuer mes travaux de recherche au sein du laboratoire de Biosciences de cette école. Monsieur le Directeur, je vous exprime toute ma gratitude pour avoir mis à ma disposition le matériel de votre laboratoire.

Je remercie profondément Madame Habiba Oumarou Zoli et Monsieur Aboubakar Ben Baina, deux personnes sympathiques, qui m'ont assisté et m'ont fait rigoler tout au long de mon séjour au laboratoire. Mes séances de travail au laboratoire et mon intégration dans ce monde nouveau où je devais tout apprendre ont été aussi faciles grâce à eux.

Merci au Docteur Onana Fils Mammert, Enseignant-chercheur à l'Institut des Sciences Halieutiques de l'Université de Douala et au Docteur Nana Paul Alain pour toutes les motivations morales, pour les échanges scientifiques et pour les encouragements. A Docteur Nzieleu Tchagnouo Joseph Guy, Hydrobiologiste et Enseignant à l'Institut Supérieur du Sahel pour ses encouragements et son aide technique.

Je remercie également mes collègues et amis membres du Centre de Recherches et d'Études Globales aux Unités Multidisciplinaires (CREGUM) de Maroua pour la solidarité et le partage des expériences scientifiques. Les différents séminaires organisés n'ont fait que renchérir mes connaissances et améliorer mes enseignements. À Monsieur Guebou Tadjuidje François, Sociologue, j'exprime toute ma gratitude pour son soutien, ses intrigues et son affection qui n'ont fait que m'encourager. À Monsieur Tatuebu Zacharie Duflot, Historien de l'Art et Enseignant à l'Institut Supérieur du Sahel pour ses encouragements.

Je dis toute ma reconnaissance à maman Suzanne Gbaguidi pour le soutien moral et son affection. Maman Suzanne, nous nous sommes rencontrés en septembre 2012 à Maroua lorsque, à bout de souffle, j'étais prête à tout abandonner. Par des discours que tu ne cessais de me rappeler et qui m'a mise le baume sur le cœur : « Petite fille, je viens de te connaître mais je vois en toi une grande bosseuse, ne déprime pas, reste positive ; tu ne dois rien lâcher sinon tu auras abandonné les enfants pour rien ». Notre rencontre a changé ma vie. Merci maman.

Ma reconnaissance et ma gratitude vont également à l'endroit de Monsieur Saha Ferdinand, Ingénieur Agroéconomiste, l'homme omnipotent pour sa gentillesse et pour m'avoir initiée aux logiciels XLSTAT et SPSS 19.0.

La collecte des données *in situ* ainsi qu'au laboratoire et la rédaction du mémoire final n'auraient pas été faisables si je n'avais pas été secondée dans mes tâches ménagères par de nombreuses personnes. Parmi elles, Madame Kenmogne Brigitte est celle-là qui a supporté les caprices et essuyé les larmes de mes enfants pendant tout ce temps que j'ai été éloignée d'eux. Mama Brigitte, ma reconnaissance est si grande que je ne sais si les mots suffiront à l'exprimer. Merci infiniment pour l'amour et l'éducation que tu leur as donnés. Merci à Madame Josephine Anjiah qui suivait leur enseignement à la maison par des cours savamment préparés et pour leur suivi à leur école où elle est institutrice.

Messieurs Tekam Philippe Merdovil et Tameu Pascal, je vous dois beaucoup. Merci pour les petits plats pleins d'énergie qui m'attendaient à mon retour lorsque je n'avais pas pu me libérer aussi tôt pour les préparer moi-même. Merci pour la synergie, l'amitié et le respect qui régnaient à la maison. Vous êtes mes petits frères que la vie m'a donnés.

À Monsieur Tegua Michel, je dis grandement merci pour la complicité, l'amour, l'attention et l'affection que tu as manifestés et manifeste encore à mon égard. Tu es le plus que la vie m'a accordée.

À toute ma famille j'adresse ma reconnaissance et surtout à mes oncles Félix, André et Emmanuel, à mes cousines Marie, Mireille et Édith, à mon cousin Albert, à mon unique tantine appelée affectueusement Ma'a Pauli, à ma sœur Astride, à mon frère Franck et à mon père Tchudjo Robert pour leur soutien moral et/ou financier.

À mes enfants à qui je dois beaucoup au cours de cette thèse, je vous présente toutes mes excuses pour les nombreuses fois que je vous ai éloignés de moi et vous dis mille fois merci.

Merci également à maman Guiadem Odette Olivade et ses enfants, à Maman Ngwana Rose, son époux et ses enfants ainsi qu'à maman Modjo Marie Lutgarde pour tous les encouragements, l'attention et l'amour que vous n'avez cessés de me témoigner depuis le décès de ma feuë maman.

Merci à mes amis de longue date Marlyse Magne, Simone Kuissic André Joel Youbi, Myriam Stella Domche et Adeline Youguia pour vos encouragements et vos soutiens depuis les classes du lycée.

Merci à tous ceux que je n'ai pas cité et qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à mon épanouissement lors de la réalisation de cette thèse.

SOMMAIRE

Dédicace	i
Remerciements	ii
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des annexes	xiii
Résumé	xiv
Abstract.....	xvi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I :REVUE DE LA LITTERATURE	6
I.1. Ecosystèmes lotiques et leur fonctionnement	7
I.1.1. Hydrosystème fluvial.....	7
I.1.2. Fonctionnement des écosystèmes lotiques.....	8
I.1.3. Zonations écologiques et typologiques des cours d'eau	8
I.1.4. Évaluation de la qualité de l'habitat des macroinvertébrés benthiques	13
I.1.5. Notion de cours d'eau temporaires	13
I.1.6. Principales méthodes d'étude des cours d'eau : notion de surveillance écologique	15
I.2. Macroinvertébrés benthiques en tant que bioindicateurs et écologie des eaux courantes.....	20
I.2.1. Définition	20
I.2.2. Eléments d'écologie et de biologie des macroinvertébrés benthiques.....	21
I.2.3. Macroinvertébrés benthiques des cours d'eau temporaires	25
I.2.4. Modes d'alimentation des organismes benthiques	26
I.2.5. Intérêt de l'étude de la macrofaune benthique : macroinvertébrés et pollution	27
I.2.6. Aperçu sur les invertébrés aquatiques des cours d'eau temporaires au Cameroun	28
I.2.7. Macrofaune benthique et intégrité biologique	29
I.2.8. Qualité de l'habitat et l'intégrité biologique.....	33
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	35
II.1. Considérations générales sur la zone d'étude	36
II.1.1. Localisation et situation géographique	36
II.1.2. Climatologie	36
II.1.3. Géomorphologie et types de sols.....	38
II.1.4. Relief et Hydrographie	39
II.1.5. Couvert végétal.....	40
II.1.6. Saison sèche et écoulement des eaux	41
II.2. Site d'étude, période d'étude et description des stations d'étude	41

II.2.1. Site d'étude	41
II.2.2. Période d'étude	42
II.2.3. Description des stations de prélèvement	42
II.2.4. Perturbations anthropiques dans la plaine de Diamaré.....	50
II.3. Méthodologie	53
II.3.1. Méthode d'analyse physicochimique	53
II.3.2. Technique d'échantillonnage de la macrofaune benthique	55
II.3.3. Mesure des paramètres hydrologiques	58
II.3.4. Méthodes d'analyses des données	58
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	63
III.1. Résultats	64
III.1.1. Résultats de la première phase	64
III.1.2. Résultats de la deuxième phase d'étude	70
III.2. Discussion.....	126
III.2.1. Qualité physicochimique des eaux des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao : fonctionnement des cours d'eau temporaires en zone soudano-sahélienne	126
III.2.2. Composition de la macrofaune.....	129
III.2.3. Dynamique spatiale de la macrofaune benthique des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao	134
III.2.4. Dynamique temporelle de la communauté de macroinvertébrés des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao.....	135
III.2.5. Structure du peuplement et indices majeurs caractérisant les cours d'eau étudiés.....	136
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	138
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	142
TABLE DES MATIERES.....	165
ANNEXES	171

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte localisant la zone d'étude.	36
Figure 2 : Précipitations moyennes mensuelles en mm dans la localité de Maroua-Salak.	37
Figure 3 : Températures mensuelles de l'air en °C à Maroua-Salak dans la période allant de 1994-2013	38
Figure 4 : Carte du réseau hydrographique du bassin du Mayo Tsanaga montrant les variations d'altitude (a) et la hiérarchisation du réseau hydrographique (b)	39
Figure 5 : Localisation des stations d'échantillonnage dans le site d'étude sur le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao	43
Figure 6 : Vue partielle de la station MT1 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	45
Figure 7 : Vue partielle de la station MT2 montrant quelques activités humaines en présence d'eau (a : passage du bétail, b : baignade).	45
Figure 8 : Vue partielle de la station MT3 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	46
Figure 9 : Vue partielle de la station MT4 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	46
Figure 10 : Vue partielle de la station MT5 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	47
Figure 11 : Vue partielle de la station MT6 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	48
Figure 12 : Vue partielle de la station MK1 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	48
Figure 13 : Vue partielle de la station MK2 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	49
Figure 14 : Vue partielle de la station MK3 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).	49
Figure 15 : Photos illustrant le rejet des effluents de la SODECOTON dans le Mayo Tsanaga en absence d'eau (a et b) et en présence d'eau (c et d).....	51
Figure 16: Photos illustrant la pollution urbaine dans les rivières d'étude du Mayo Tsanaga.	52

Figure 17: Photo montrant un champ de sorgho et de riz au bord du Mayo Tsanaga (a) et l'extraction de sable dans le Mayo Kaliao (b).	53
Figure 18 : Photos illustrant le phénomène d'altération des berges dans le Mayo Kaliao (a) et le Mayo Tsanaga (b).	56
Figure 19 : Variation de la hauteur maximale de l'eau dans le Mayo Tsanaga au cours de la première phase	65
Figure 20 : Variation de la vitesse du courant dans le Mayo Tsanaga lors de la première phase	65
Figure 21 : Variation de la température de l'eau dans le Mayo Tsanaga au cours de la première phase.	66
Figure 22 : Variation de la conductivité électrique (EC) au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.	67
Figure 23 : Variation des nitrates au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.	67
Figure 24 : Variation de l'ammonium au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.	68
Figure 25 : Variation des orthophosphates au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.	69
Figure 26: Variation de la hauteur maximale de la lame d'eau dans le Mayo Tsanaga (a) et dans le Mayo Kaliao (b) au moment de l'échantillonnage au cours de l'étude.	70
Figure 27: Variation de la vitesse du courant dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	71
Figure 28: Variation spatiotemporelle de la température (a), des nitrates (b), du pH (c), de l'ammonium (d), de la conductivité électrique (e) et des orthophosphates (f) dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude	74
Figure 29: Variation spatiotemporelle de la température (a), du pH (b), de la conductivité électrique (c), des nitrates (d), de l'ammonium (e) et des orthophosphates (f) dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	77
Figure 30: ACP des paramètres physico-chimiques des différentes stations d'étude du Mayo Tsanaga.	79
Figure 31 : ACP des paramètres physico-chimiques des différentes stations d'étude du Mayo Kaliao	80

Figure 32 : Variation de la richesse taxonomique (a) et de l'abondance taxonomique (b) le long du Mayo Tsanaga.....	84
Figure 33 : Variation de la richesse taxonomique (a) et de l'abondance taxonomique (b) le long du Mayo Kaliao.	86
Figure 34 : Diversité et abondance taxonomiques d'invertébrés benthiques récoltés à la fois dans les 2 rivières	88
Figure 35 : Principales familles d'Insectes récoltées dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	92
Figure 36 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Odonates dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	93
Figure 37 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Ephéméroptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	94
Figure 38 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Hétéroptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	95
Figure 39: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles des Diptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	96
Figure 40: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Coléoptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	97
Figure 41: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de l'Embranchement des Mollusques dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	98
Figure 42: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances de la classe des Crustacés dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	99
Figure 43 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances de la classe des Oligochètes dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.	100
Figure 44 : Principales familles d'insectes récoltées dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	101
Figure 45: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Odonates dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	102
Figure 46: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Ephéméroptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.....	103
Figure 47: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Hétéroptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	104

Figure 48 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Diptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.....	105
Figure 49 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Coléoptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	106
Figure 50: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des Oligochètes dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.	107
Figure 51: Variation de la richesse (a) et de l'abondance taxonomiques (b) dans le Mayo Tsanaga au cours des 2 saisons d'étude.....	111
Figure 52 : Variation de la richesse (a) et de l'abondance taxonomique (a) dans le Mayo Kaliao au cours des 2 saisons d'étude	112
Figure 53 : Différents groupes alimentaires fonctionnels obtenus dans les cours d'eau étudiés.	113
Figure 54 : Variation temporelle des groupes fonctionnels alimentaires par période de permanence de l'eau dans le Mayo Tsanaga (a) et le Mayo Kaliao (b)	114
Figure 55 : Valeurs des pourcentages des taxons intolérants (% TI) et des taxons tolérants (% TT) obtenus dans les stations du Mayo Tsanaga (a) et au cours des périodes de la permanence des eaux (b).....	119
Figure 56 : Valeurs des pourcentages des Taxons intolérants (% TI) et des taxons tolérants (% TT) obtenus dans les stations du Mayo Kaliao (a) et au cours de la permanence des eaux (b).....	120
Figure 57: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des six stations d'étude du Mayo Tsanaga.....	121
Figure 58: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des trois périodes de permanence des eaux du Mayo Tsanaga.	122
Figure 59: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des six stations d'étude du Mayo Kaliao.	124
Figure 60: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des trois périodes de permanence des eaux du Mayo Tsanaga.	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification des eaux temporaires en fonction du régime d'inondation	14
Tableau II : Échelle de valeur de H' et sa signification.....	31
Tableau III : Échelle d'interprétation des résultats de HBI.....	32
Tableau IV : Coordonnées géographiques et microhabitats des stations d'échantillonnage sur le Mayo Tsanaga.....	44
Tableau V : Coordonnées géographiques et microhabitats des stations d'échantillonnage sur le Mayo Kaliao.....	44
Tableau VI : Fiche de calcul de l'IQH	62
Tableau VII : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Tsanaga.....	81
Tableau VIII : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Kaliao.....	82
Tableau IX: Différents groupes zoologiques recensés dans les cours d'eau étudiés au cours des 02 saisons de prélèvement	83
Tableau X : Valeurs des probabilités du test de Mann-Whitney appliqué entre les stations du Mayo Tsanaga.....	87
Tableau XI : Valeurs des probabilités du test de Mann-Whitney appliqué entre les stations du Mayo Kaliao	87
Tableau XII: Liste des taxons de macroinvertébrés benthiques identifiés dans les 2 cours d'eau d'étude	89
Tableau XIII : Fréquence d'occurrence des taxons identifiés dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	109
Tableau XIV : Fréquence d'occurrence des taxons identifiés dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.....	110
Tableau XV: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au niveau de chaque station d'étude du Mayo Tsanaga.....	115
Tableau XVI: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au cours de chaque période dans le Mayo Tsanaga.....	115
Tableau XVII: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au niveau de chaque station d'étude du Mayo Kaliao	115
Tableau XVIII : Indices de diversité H' et d'équitabilité J au cours de chaque période de permanence des eaux dans le Mayo Kaliao	116

Tableau XIX : Indice EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Tsanaga.....	116
Tableau XX : Indices EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Tsanaga au cours des trois périodes de permanence des eaux.....	116
Tableau XXI : Indices EPT/Chironomidae obtenus dans le Mayo Kaliao.....	117
Tableau XXII : Indice EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Kaliao au cours des trois périodes de permanence des eaux.....	117
Tableau XXIII : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) dans les stations d'étude du Mayo Tsanaga.....	118
Tableau XXIV : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans le Mayo Tsanaga au cours des 3 périodes	118
Tableau XXV: Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans les stations d'étude du Mayo Kaliao	118
Tableau XXVI : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans le Mayo Kaliao au cours des 3 périodes.....	119

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Valeur de tolérance des différentes familles de macroinvertébrés benthiques vis-à-vis de la pollution organique	171
Annexe 2 : Description des paramètres utilisés pour le calcul de l'IQH.....	173
Annexe 3 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés le long du Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	175
Annexe 4 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés du début à la fin de permanence de l'eau dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.....	176
Annexe 5 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés le long du Mayo Kaliao au cours de l'étude	176
Annexe 6 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés du début à la fin de permanence de l'eau dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.....	176
Annexe 7 : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Tsanaga	177
Annexe 8 : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Kaliao	177

RESUME

La Région de l'Extrême Nord du Cameroun située en zone soudano-sahélienne est caractérisée par une faible pluviométrie ayant pour conséquence une rareté des ressources en eaux pérennes. Cette rareté amène les populations de cette Région à exploiter les cours d'eau, généralement temporaires, sans se soucier de la qualité de leurs eaux. Une étude sur deux cours d'eau traversant la ville de Maroua (le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao) a été menée de mai 2012 à octobre 2014 avec pour but d'évaluer la structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques de ces cours d'eau en relation avec les activités humaines afin de mettre en évidence le fonctionnement des écosystèmes lotiques temporaires en zone soudano-sahélienne camerounaise durant leur courte permanence.

Les prélèvements ont été réalisés dans trois stations dans le Mayo Kaliao et dans six stations dans le Mayo Tsanaga suivant une fréquence hebdomadaire pour les macroinvertébrés benthiques et selon une fréquence « périodique » pour les paramètres physicochimiques. Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été réalisées *in situ* et au laboratoire. Les échantillons de macroinvertébrés benthiques collectés sur le terrain ont été identifiés par observation à la loupe trinoculaire et au microscope selon les méthodes classiques.

Les résultats des paramètres hydrologiques (vitesse du courant et hauteur maximale de la lame d'eau au moment de l'échantillonnage) montrent une instabilité du milieu consécutive aux variations de la pluviométrie et du débit du courant. Par ailleurs, la hauteur maximale de la lame d'eau au moment de l'échantillonnage a permis de scinder la permanence de l'eau en trois périodes dénommées début de permanence de l'eau, mi-permanence de l'eau et fin de permanence de l'eau.

Les résultats des variables physicochimiques révèlent une pollution organique quasi nulle dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao malgré les perturbations anthropiques en cours dans leurs bassins versants au travers de l'agriculture, de l'industrie et des activités domestiques. En effet, les indicateurs de pollution organique comme les teneurs en nitrates, les teneurs en orthophosphates, la conductivité électrique et l'azote ammoniacal présentent des valeurs très faibles. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des variables physicochimiques a permis de discriminer les facteurs prépondérants à chaque période de permanence des eaux. En début de permanence des eaux, les ions ammonium sont prépondérants et matérialisent une faible minéralisation des eaux après de long mois secs. Dès la mi-permanence des eaux, l'oxygénation des eaux favorisée par les fortes turbulences augmente l'oxydation des matières organiques présentes et une minéralisation plus importante, d'où la prépondérance des ions nitrates et une

conductivité électrique de l'eau élevée. En fin de permanence des eaux, l'arrêt des pluies, l'abaissement de la hauteur d'eau ainsi que la stabilité qui ont lieu augmentent l'incidence des rayons solaires sur les eaux qui s'échauffent et le taux d'orthophosphates augmentent.

La structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao révèle des peuplements plus riches que dans les cours d'eau permanents du grand sud forestier. La macrofaune benthique de ces rivières temporaires est plus abondante que celle des cours d'eau permanents, ce qui révèle le caractère multivoltin des espèces colonisant les écosystèmes lotiques temporaires en zone soudano-sahélienne. Avec 56 familles, la macrofaune benthique du Mayo Tsanaga est plus diversifiée que celle du Mayo Kaliao où seulement 48 taxons ont été identifiés. L'indice de Pielou égal à 0,02 traduit la dominance de très peu de taxons. Ces taxons qui représentent 91,02 % de la diversité totale et 93,58 % de l'abondance totale sont les Epheméroptères Baetidae (35,97 %), les Héteroptères Corixidae (Micronectinae notamment, 16,87 %), les Diptères Chironomidae (9,58 %), les Odonates Coenagrionidae (6,69 %) et les Oligochètes (4,16 %). La fin de la permanence est plus riche que la mi-permanence des eaux et le début de permanence des eaux.

La composition des peuplements de macroinvertébrés benthiques des Mayo Kaliao et Mayo Tsanaga montre une prépondérance des taxons tolérants à la matière organique sur les taxons intolérants aussi bien dans l'espace que dans le temps et témoigne que ces rivières sont soumises aux pollutions organiques. Sur le plan trophique, les peuplements des deux cours d'eau sont dominés par les collecteurs (rassembleurs et filtreurs) et stipulent que les fines particules de matières organiques constituent la ressource alimentaire majeure.

Le fonctionnement du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao est tributaire principalement de leur hydrologie (surtout de la hauteur de l'eau), de la température de l'eau et de la végétation de bordure. La structure des peuplements des organismes macrobenthiques de ces cours d'eau a montré que les macroinvertébrés benthiques peuvent être utilisés pour révéler l'état écologique des cours d'eau temporaires en zone soudano-sahélienne du Cameroun. Les indicateurs majeurs pour l'évaluation de la qualité hydrobiologique sont le pourcentage des taxons tolérants et le pourcentage des taxons intolérants à la matière organique, l'indice biotique de Hilsenhoff et les groupes fonctionnels alimentaires.

Mots clés : Hydrobiologie, macroinvertébrés benthiques, zone soudano-sahélienne, cours d'eau temporaires ou Mayo, Extrême-Nord

ABSTRACT

The Far North Region of Cameroon located in the Sudano-Sahelian zone is characterized by low rainfall, which results in a scarcity of perennial water resources. This scarcity leads the population of this Region to exploit streams, usually temporary, regardless of the quality, despite of the various wastes discharged into the environment through agricultural, industrial and domestic activities. A study of two rivers crossing the city of Maroua (Mayo Tsanaga and Mayo Kaliao) was conducted from May 2012 to October 2014 with the aim of studying the structure of the benthic macroinvertebrates of these rivers in relation to human activities in order to highlight the functioning of temporary lotic ecosystems in the Sudano-Sahelian zone of Cameroon during their short permanence.

Samples were taken at three stations in Mayo Kaliao and at six stations in Mayo Tsanaga at a weekly frequency for benthic macroinvertebrates and at a “periodic” frequency for physicochemical parameters. Measurements of hydrological parameters were made *in situ* while measurements of physicochemical parameters were performed *in situ* and in the laboratory. Benthic macroinvertebrates samples collected in the field were identified by observation under the trinocular magnifying glass and the microscope.

The results of the hydrological parameters (current velocity and maximum depth of the water at the time of sampling) showed instability of the environment as a result of changes in rainfall and flow rate. Moreover, the maximum depth of the water at the time of sampling permitted the division of the permanence of the water into three periods called the “beginning of water permanence”, the “mid-permanence of water” and the “end of permanence of the water”.

The results of the physicochemical variables revealed the oligotrophic character of water of Mayo Tsanaga and Mayo Kaliao despite anthropogenic disturbances in their watersheds through agriculture, industry and domestic activities. Indeed, indicators of organic pollution such as nitrates, orthophosphates, electrical conductivity and ammonium nitrogen have very low values. The Principal Component Analysis (PCA) of the physicochemical variables permits the determination of the predominant factors at each water permanence period. At the “beginning of water permanence”, the ammonium ions are more predominant and reveal a weak mineralization of the water after long dry months. At the “mid-permanence of water”, the oxygenation of water, favored by the strong turbulence increases the oxidation of organic matter present and a greater mineralization, hence the preponderance of nitrates ions and a high

electrical conductivity of water. At the “end of water permanence”, the end of rainfall, the decrease of the water level as well as the stability that takes place increase the incidence of solar rays on the waters which warm up and the rate of orthophosphates increase.

The study of the structure of benthic macroinvertebrates communities of Mayo Tsanaga and Mayo Kaliao Rivers reveals the communities as diversified as the permanent streams of the great southern forest of Cameroon. However, the benthic macroinvertebrates of these temporary rivers is more abundant than that of the permanent streams, which shows the multivoltin character of the species colonizing the temporary lotic ecosystems in the Sudano-Sahelian zone. With 56 families, the benthic macroinvertebrates communities of Mayo Tsanaga River were more diversified than Mayo Kaliao where only 48 taxa were identified. The Pielou index of 0.02 reflects the dominance of very few taxa in benthic macroinvertebrates communities. These taxa, which represent 91.02% of the total diversity and 93.58% of the total abundance, are the Ephemeroptera Baetidae (35.97%), the Heteroptera Corixidae (Micronectinae in particular, 16.87%), the Diptera Chironomidae (9.58%), the Odonates Coenagrionidae (6.69%) and the Oligochaetes (4.16%). The “end of the water permanence” is richer than the “mid-permanence of the water” and the “beginning of permanence of the water”.

The composition of the benthic macroinvertebrates of Mayo Kaliao and Mayo Tsanaga shows a dominance of tolerant taxa of organic matter on intolerant taxa both in space and time and testify that these rivers are subject to organic pollution. In trophic terms, the communities of the two rivers are dominated by collectors (gatherers and filterers) and stipulate that fine particles of organic matter (FPOM) are the major food resource.

The functioning of Mayo Tsanaga and Mayo Kaliao Rivers depends mainly on their hydrology (especially the depth of the water), the temperature of water and bank vegetation. The structure of benthic macroinvertebrates in these streams has shown that benthic macroinvertebrates can be used to reveal the ecological status of temporary streams in the Sudano-Sahelian zone of Cameroon. The major indicators for the assessment of hydrobiological quality are the percentage of tolerant taxa and the percentage of intolerant taxa on organic matter, the Hilsenhoff biotic index and the functional feeding groups.

Key words: Hydrobiology, benthic macroinvertebrates, Sudano-Sahelian zone, temporary streams or Mayo, Far-North

INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable est un problème épineux auquel fait face une bonne franche de la population mondiale. Ce problème devenu planétaire est beaucoup plus accentué dans certaines régions du globe, notamment dans les régions arides et semi-arides où la déforestation, les changements climatiques, l'accroissement démographique et le développement de l'urbanisation ont conduit à une importante baisse des réserves en eau mobilisable pour les usages domestiques et agropastoraux. Dans les pays en voie de développement, les changements climatiques, en perturbant de nombreux écosystèmes, exacerbent les problèmes de pénurie d'eau et de pollution (Morel, 2007). En effet, les changements climatiques modifient la température, la pluviométrie, l'acidité des océans et la fréquence des phénomènes extrêmes à l'instar de l'érosion de la biodiversité (OREE, 2009).

Ce problème est d'autant plus profond dans les zones arides et semi-arides caractérisées par des précipitations très réduites et par une forte évapotranspiration. La conséquence en est une grande rareté des eaux de surface, et bien souvent, l'absence de cours d'eau ou de lacs permanents dans les régions sahariennes et sahéliennes (Boutin et *al.*, 2011). Cette rareté des eaux de surface pérennes conduit les populations de ces régions en général et celles des régions soudano-sahéliennes en particulier à exploiter de l'eau d'origines diverses, sans se soucier de la qualité pour l'alimentation, l'irrigation des cultures, l'abreuvement du bétail et pour les tâches domestiques.

Au Cameroun, les populations ne sont pas épargnées de cette pratique. A l'opposé du Grand Sud du pays beaucoup plus humide où les plans d'eau sont permanents, l'eau a toujours été un facteur limitant pour les populations de la Région de l'Extrême-Nord où la sécheresse qui sévit depuis 1972 a réduit les précipitations annuelles, rendant ainsi la région encore plus vulnérable. En fait, le climat de cette région est de type soudano-sahélien et est caractérisé par des sécheresses récurrentes et les moyennes pluviométriques annuelles qui décroissent avec le temps (MINEPAT/PNUD, 2010). D'après ces auteurs, les moyennes interannuelles de la zone, supérieures à 850 mm avant 1999 n'ont été que de 700 mm sur la période 2000 – 2005. Nonobstant les centaines de puits et forages implantés dans la Région grâce à de nombreux programmes d'études et d'hydraulique villageoise, plus de 70 % de la population ont toujours des difficultés d'accès à l'eau potable (PANGIRE, 2009). Ces difficultés sont dues à la pauvreté, à la diminution du niveau piézométrique des nappes souterraines, à la défection des infrastructures des forages et aussi à la forte croissance démographique que connaît cette partie du pays. En effet, la population de l'Extrême Nord est passée de 1 394 765 habitants en 1976 à 3 480 414 habitants en 2010 et est estimée à 3 993 007 habitants en 2017 ; cette région

représente de nos jours la deuxième région la plus peuplée du pays pour une densité moyenne de 101,6 habitants/km² (BUCREP, 2010). Pour pallier aux problèmes de pénurie d'eau, les populations exploitent les cours d'eau et les mares le plus souvent temporaires et qui sont soumises à de nombreuses contaminations (notamment par l'agriculture et la défécation animale et humaine). Ces eaux de surface devenues insalubres véhiculent des virus, des bactéries, des parasites, des micro-organismes végétaux ou animaux, qui provoquent des maladies graves. C'est pourquoi sévissent dans la région diverses maladies liées à l'eau de mauvaise qualité dont le choléra, la typhoïde, la giardiose, la cryptosporidiose et la malaria (MINSANTE, 2013). Le choléra par exemple constitue un problème majeur de santé publique dans la Région Extrême-Nord du Cameroun. En effet, entre 1996 et 2010, cette région a connu plusieurs épidémies, aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche (Djao *et al.*, 2011). Une importante épidémie de choléra a sévi dans toute la région en 2010 pendant la courte saison des pluies (juillet à octobre) et a causé de nombreuses pertes en vies humaines. Maroua a été l'épicentre de cette dernière épidémie sévère et la pire depuis plus de 20 ans avec environ 600 décès sur plus de 9000 cas détectés (MINSANTE/SNV, 2011). En novembre 2013, le Ministre de la Santé lors de sa tournée après une épidémie de paludisme annonçait plus de 2000 décès au cours de la saison pluvieuse. La surveillance et le maintien de la qualité des eaux continentales, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, devient alors un enjeu majeur pour répondre aux exigences des populations de plus en plus nombreuses.

La surveillance de la qualité de l'eau intègre à la fois la composante physicochimique et la composante biologique. La surveillance physicochimique qui est basée exclusivement sur la mesure de la concentration des polluants dans l'eau ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème. Elle ne renseigne pas sur la qualité de l'habitat, n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection des méthodes analytiques, ni les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents polluants sur les organismes vivants. La surveillance biologique qui implique des mesures relatives aux êtres vivants est l'outil principal pour évaluer la santé biologique des milieux aquatiques car les organismes vivants intègrent mieux les perturbations ayant eu lieu ou encore présentes dans l'environnement (U.S. EPA, 2002). L'utilisation de toute communauté biologique dans les systèmes de conservation et/ou de surveillance des eaux nécessite la connaissance de la composition et de la distribution des peuplements de celle-ci, de leurs variations spatiales et temporelles ainsi que de leurs relations avec les facteurs du milieu (Allan et Johnson, 1997; Meffe et Carroll, 1997; Bryce *et al.*, 1999; Smogor et Angermeier, 1999). Ainsi, un déficit

d'informations sur la variabilité de la faune aquatique pourrait constituer un handicap dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de développement durable et de la protection de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques (Morrisey *et al.*, 1992; Clarke et Warwick, 1994; Touzin, 2008).

Au Cameroun, la surveillance biologique des milieux aquatiques est maintenant reconnue comme une composante essentielle de l'évaluation de la qualité des eaux, les macroinvertébrés étant établis comme de bons indicateurs de l'état de santé global des hydrosystèmes lotiques (Kiampi Tchoffo, 2004 ; Nyamsi Tchatcho, 2004 ; Egnima Mbagnou, 2007 ; Foto Menbohan *et al.*, 2010, 2011 ; Foto Menbohan, 2012 ; Onana *et al.*, 2014 ; Onana, 2016, Tchakonté, 2016). Cependant, elle reste confinée au milieu tropical humide où les cours d'eau sont permanents. Aucune étude hydrobiologique n'a encore été effectuée dans les milieux aquatiques de la partie septentrionale du pays (milieu ou domaine tropical sec) où les cours d'eau temporaires sont très exploités par les riverains à toutes les fins. Les études antérieures effectuées dans ces cours d'eau se limitent à l'étude de leur l'hydrologie (Iyebi-Mandjek et Seignobos, 2000 ; Liénou, 2007 ; Leroux, 2012). La présente étude est donc la première à prendre en compte l'hydrobiologie des milieux lotiques temporaires au Cameroun. Elle contribuera à la connaissance de la biodiversité des macroinvertébrés qui peuplent les cours d'eau temporaires du début de l'écoulement jusqu'au tarissement des eaux en milieu soudano-sahélien et de ce fait contribuera à la connaissance du fonctionnement de ces hydrosystèmes.

BUT DE LA RECHERCHE

Le but de cette étude est de contribuer à la gestion des ressources en eau en mettant à la disposition des acteurs de l'eau et des chercheurs des informations sur l'hydrobiologie des écosystèmes lotiques des régions soudano-sahéliennes au Cameroun. Pour cela, le choix a porté sur le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao, deux cours d'eau temporaires du bassin du Mayo Tsanaga situé dans la Région de l'Extrême-nord. Cette étude tente d'établir un ensemble de données à partir desquelles seront effectuées des comparaisons afin de déterminer les facteurs majeurs influant la vie dans les eaux des grandes régions écologiques du Cameroun.

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

L'objectif principal de ce travail est d'étudier les peuplements de macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao, deux cours d'eau temporaires afin d'apprécier le fonctionnement écologique et le niveau de perturbation de ces deux milieux. Plus spécifiquement, il s'agit dans ces cours d'eau de :

- déterminer les caractéristiques physicochimiques des eaux à partir de quelques variables abiotiques dans l'optique d'évaluer l'état trophique de ces eaux.
- inventorier les peuplements de macroinvertébrés benthiques qui colonisent le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao depuis le début de l'écoulement jusqu'au tarissement des eaux afin d'établir les caractéristiques faunistiques de ces communautés et leurs variations spatiales et temporelles.
- déterminer l'indice de qualité de l'habitat (IQH) dans l'optique de mettre en évidence la capacité du milieu à soutenir une communauté d'invertébrés aquatiques.
- mettre en évidence les prédicteurs de leur distribution aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Le présent document est structuré en trois chapitres. Le chapitre 1 présente la revue de littérature. Le chapitre 2 concerne la présentation du site d'étude et la méthodologie du travail. Le chapitre 3 quant à lui présente les résultats obtenus ainsi que leurs discussions qui en découlent. A la fin du document est présentée la conclusion assortie de quelques recommandations et perspectives de recherche.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. ECOSYSTEMES LOTIQUES ET LEUR FONCTIONNEMENT

Les écosystèmes aquatiques continentaux encore appelés écosystèmes limniques sont des milieux dulcicoles généralement subdivisés en écosystèmes lentiques (lacs, étangs, mares, marais et marécages) où le renouvellement de l'eau est très lent par opposition aux écosystèmes lotiques (cours d'eau) où le renouvellement de l'eau est plus ou moins rapide. Ces écosystèmes présentent une importance écologique majeure puisqu'ils reflètent directement le fonctionnement des bassins versants et les activités des populations humaines qui y vivent (Hynes, 1975). Aussi, les écosystèmes lotiques sont en constante interaction d'amont en aval avec les habitats environnants (Cébron, 2004).

I.1.1. Hydrosystème fluvial

En écologie classique, chacun des éléments du système eau courante-annexes terrestres ou aquatiques-milieu interstitiel correspond à une entité fonctionnelle désignée par le terme de complexe écosystémique ou écocomplexe (Ramade, 2007). Cependant, la circulation de l'eau dans les trois dimensions de l'espace (longitudinale, latérale, verticale) engendre divers flux entre les éléments de la mosaïque paysagère qui apparaissent ainsi connectés et interdépendants (Hynes, 1983 ; Ward, 1989; Vervier et *al.*, 1992). Bien que les écoulements d'amont en aval (flux longitudinal) soient les plus importants, ils ne sont pas les seuls à régir le fonctionnement des systèmes lotiques. En effet, les flux transversaux et verticaux jouent également un rôle prépondérant dans cette régulation. Ces derniers se manifestent par la formation de zones humides en marge des cours d'eau, par les connexions avec la plaine alluviale (flux transversal), et par les échanges avec les sédiments ou le milieu souterrain situé sous le lit fluvial (flux vertical). Ainsi, en écologie fluviale, l'eau étant le vecteur principal des échanges dans les trois dimensions de l'espace, l'ensemble constitué par le chenal et ses annexes (terrestres, aquatiques et interstitielles) est désigné par l'expression : "hydrosystème fluvial" (Amoros et Petts, 1993). En ajoutant à la notion d'hydrosystème fluvial le facteur temps, la nature quadridimensionnelle des systèmes lotiques est alors définie. Ainsi, ces systèmes présentent une organisation spatiale hiérarchisée dont les niveaux successifs s'emboîtent et sont contrôlés par des processus se déroulant à différents pas de temps.

Les cours d'eau présentent toujours des alternances de faciès y compris dans leur parcours les plus rectilignes. Ces faciès d'écoulement sont des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle sur le plan des vitesses du courant de l'eau, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat, de la pente du lit et des profils en travers. La

diversité longitudinale des formes et de leur structure physique est mise à profit par la flore et la faune aquatique qui y rencontrent les différents habitats nécessaires à l'accomplissement de leurs cycles vitaux. En ce qui concerne la vitesse du courant des eaux, Malavoi et Souchon (2002), identifient deux principaux types de faciès en milieu lotique :

- les faciès dits lentières où les vitesses de l'eau sont inférieures à 30 cm/sec (mouilles, chenaux lentières, plats lentières) ;
- les faciès dits lotiques où les vitesses de l'eau sont supérieures à 30 cm/sec (radiers, plats, rapides, chenaux lotiques).

Les hydrobiologistes s'intéressent à toutes ces unités morphologiques (Kershner *et al.*, 1992) pour composer leurs unités d'échantillonnage pour le prélèvement de macroinvertébrés benthiques (Armitage *et al.*, 1987) ou au choix des faciès lentières pour l'échantillonnage du plancton.

I.1.2. Fonctionnement des écosystèmes lotiques

Un cours d'eau draine un bassin versant et tend à rejoindre le point le plus bas. La puissance de l'eau en mouvement érode à la fois les matériaux du bassin versant, les ressources nécessaires au fonctionnement de l'écosystème lotique (sels minéraux et nécromasse) et entraîne même les organismes vivants (c'est le phénomène de dérive) (Angelier, 2000). L'originalité des écosystèmes d'eaux courantes est que leur fonctionnement se déroule surtout suivant un gradient horizontal ; c'est ce qui explique leur tendance à l'hétérotrophie.

Les organismes des eaux courantes sont soumis à 2 facteurs écologiques particuliers les opposant à tous les êtres vivants de la planète : l'hydraulique – courant et débit – et le temps de transit de l'eau, ce dernier étant le temps que met une masse d'eau pour atteindre un confluent ou son estuaire (Angelier, 2000). Selon cet auteur, ce sont 2 facteurs dominants et limitants conditionnant la vie des organismes d'eaux courantes et leur stratégie adaptative, les autres facteurs en dehors de la température n'ayant le plus souvent qu'un rôle accessoires.

I.1.3. Zonations écologiques et typologiques des cours d'eau

L'élaboration d'une typologie permet de déterminer les traits caractéristiques des cours d'eau, en vue de distinguer les types de fonctionnement et de décrire la répartition des espèces ou d'identifier des tronçons homogènes à partir des paramètres abiotiques simples (ONEMA, 2012). De nombreux auteurs ont tenté une classification des eaux courantes (Huet, 1949 ; Illies et Botosaneanu, 1963 ; Verneaux 1973 ; Vannote *et al.*, 1980). Il s'agit soit d'une typologie

zonale amont-aval, soit d'une typologie des microhabitats. Ces deux typologies correspondent en fait aux deux modes de perception d'un cours d'eau mais elles ne sont pas indépendantes.

I.1.3.1. Zonation amont-aval

La typologie de Illies et Botosaneanu (1963) et la typologie de Vannote et *al.* (1980) sont celles présentées dans ce document car les communautés vivantes sont organisées dans les hydrosystèmes fluviaux en fonction de l'évolution des facteurs morphodynamiques du cours d'eau et en fonction de l'évolution graduelle des facteurs abiotiques et biotiques et notamment, en fonction de l'origine et du type de matière organique comme décrit par la théorie du continuum fluvial ou River Continuum Concept (RCC) de Vannote et *al.* (1980) et dans la zonation de Illies et Botosaneanu (1963).

I.1.3.1.1. River Continuum Concept (RCC) de Vannote et *al.* (1980)

Le concept du continuum fluvial fait le lien entre d'une part « un gradient continu de facteurs physiques », essentiellement conditionnés par la morphologie et l'hydrologie (vitesse du courant, température de l'eau, couverture végétale) et d'autre part la « dynamique » de la matière organique (apport, transport, stockage) ainsi que la structure et le fonctionnement des différentes communautés animales et végétales (Wasson, 1989). Le gradient longitudinal des conditions hydrologiques se caractérise par une diminution de la vitesse du courant vers l'aval, en liaison avec celle des pentes du bassin versant. Ainsi, les réseaux alimentaires des cours supérieurs, plutôt érosifs, sont caractérisés par la dominance des apports de matières végétales grossières des écosystèmes riverains, alors que les secteurs avals sont des zones de sédimentation dominées par des dépôts de matière organique particulaire fine.

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

Dans un cours d'eau, les éléments nutritifs (carbone, azote et phosphore) ne sont pas transportés de manière uniforme et continue. Les nutriments sont stockés dans la biomasse,

recyclés et relargués de l'amont vers l'aval, en passant alternativement par des formes organiques et inorganiques (Minshall et *al.*, 1983). Toutefois, des liaisons avec des zones de rétention de la matière organique (bras morts, faciès lenticules) se forment, accroissent les temps de résidence des éléments nutritifs dans le cours d'eau et tendent à augmenter l'efficacité du système fluvial à produire de la matière vivante.

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

L'écosystème rivière présente donc une succession non pas dans le temps mais dans l'espace (Tachet et *al.*, 2006). La stratégie des organismes est d'utiliser au mieux le flux d'énergie disponible véhiculé par le courant que de s'adapter aux facteurs morphodynamiques, physiques et de recolonisation qui sont largement dominants. Les flux de matériaux, les variables morphodynamiques, le courant, la température et l'éclairement déterminent les ajustements et la succession des communautés aquatiques (Angelier, 2000). A l'échelle locale, la rivière apparaît comme une mosaïque d'habitats bien individualisés que l'on peut caractériser par le courant et la profondeur, par la nature du substrat et sa granulométrie (blocs, graviers, sables, limons), par la présence ou l'absence de macrophytes fixées et par leur nature (bryophytes, herbiers de phanérogames).

I.1.3.1.2. Zonation écologique de Illies et Botosaneanu (1963)

La zonation de Illies et Botosaneanu (1963) est fondée sur les facteurs morphodynamiques, la température de l'eau et les invertébrés benthiques, meilleurs indicateurs biologiques que les poissons employés par Huet (1949). Trois zones, elles-mêmes subdivisées,

se succèdent de la source à l'embouchure d'un cours d'eau : le crénon, le rhithron et le potamon.

Le crénon ou cours supérieur correspond à la zone des sources et aux cours d'eau d'ordre 1 (ruisselets) qui en sont issus. La température est fonction de l'altitude et de la latitude. Ici, l'eau est riche en éléments minéraux mais pauvre en matières organiques, ce qui se traduit par des eaux de bonne qualité, souvent limpides. La profondeur reste généralement faible (de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres seulement), avec un fond constitué de rochers et de gros galets.

Le rhithron ou cours moyen correspond aux ruisseaux et rivières de montagne à pente supérieure à 0,15 %, au courant rapide et turbulent. Les substrats de fonds sont grossiers dans l'épi- et le métarhithron (blocs, moellons, galets, graviers) et fins dans l'hyporhithron (sable, sablon). Les organismes du rhithron sont en majorité sténothermes avec de nettes adaptations à la rhéophilie (forme du corps, présence des organes de fixation tels les ventouses et les crochets), adhérence au substrat). Dans cette zone, le courant est rapide et turbulent, ce qui favorise les larves d'insectes à dispersion aérienne permettant la recolonisation du milieu. Les invertébrés dépourvus de stade aérien (oligochètes, mollusques, crustacés) se cantonnent à l'abri du courant ou se fixent au substrat. La température est relativement élevée et l'eau est de plus en plus chargée en matières organiques et dissoutes provenant du lessivage du bassin versant.

Le potamon ou cours inférieur est issu de la confluence de rivières de montagne ou de collines coulant dans une plaine alluviale à faible pente (< 0,15 %). Le substrat de fond est fait de limons. Ici, la vitesse du courant est de plus en plus faible mais les débits augmentent car les volumes d'eau sont de plus en plus importants. L'eau peut être très trouble en raison d'importantes quantités d'éléments minéraux fins et de micro-algues en suspension. Sa température augmente en raison de la stabilité des eaux. Contrairement aux espèces du crénon et du rhithron qui sont sténothermes, les organismes du potamon sont eurythermes avec une large répartition géographique (eurytopes). La faune du potamon se rapproche de celle des eaux stagnantes de par l'importance des taxa sans phase de dispersion aérienne : oligochètes, mollusques, crustacés (ostracodes, copépodes, cladocères...), insectes (hétéroptères, coléoptères dytiscidae, haliplidae...).

L'écosystème lotique présente donc une succession non pas dans le temps comme les écosystèmes terrestres mais dans l'espace. Les flux de matériaux, les variables

morphodynamiques, le courant, la température de l'eau et l'éclairement déterminent les ajustements et la succession des communautés aquatiques (Angelier, 2000).

I.1.3.2. Types de microhabitats

Outre les sources, les divers microhabitats des eaux courantes dépendent des paramètres morphodynamiques comme la pente, le courant, la profondeur du lit et la granulométrie du substrat. Favet (1981) puis Jenkins et *al.* (1984) distinguent 3 types de micromilieus :

- les microhabitats d'érosion,
- les microhabitats de sédimentation,
- les microhabitats de végétation.

I.1.3.2.1. Microhabitats d'érosion

Le microhabitat d'érosion est un micromilieu constitué de blocs et de pierres. Il présente une grande complexité spatiale, des abris en abondance faits d'interstices de grande taille. Il est rencontré au démarrage d'un cours d'eau ou dans les montagnes. Il s'agit d'une zone d'érosion où la pente est forte avec peu de matières organiques et beaucoup de matières minérales en suspension ou roulant sur le fond du cours d'eau (ONEMA, 2012). Les microhabitats d'érosion sont les chutes, les cascades et les rapides. Dans ces microhabitats, les eaux sont oligotrophes, c'est-à-dire de bonne qualité écologique, souvent limpides. La profondeur reste généralement faible, de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres seulement (ONEMA, 2012). Les invertébrés benthiques qui peuplent ces microhabitats sont des espèces très sensibles à la qualité de l'eau. Elles exigent, pour s'épanouir, une eau bien oxygénée et limpide.

I.1.3.2.2. Microhabitats de sédimentation

Dans les microhabitats de sédimentation, les substrats de fonds sont constitués d'éléments fins (gravier, sable, sablon) et les microhabitats rencontrés sont les radiers, les rapides et les plats. Ces microhabitats se forment lorsque la pente s'affaiblit et la vitesse du courant se réduit, le lit s'élargit et la profondeur augmente. La faible taille des interstices est favorable aux espèces fauniques de faible dimension comme les jeunes stades larvaires d'insectes et les oligochètes (Mackay, 1969 ; Khalaf, 1975).

I.1.3.2.3. Microhabitats de végétation

Le substrat des microhabitats de végétation est un végétal immergé ou un végétal de bordure. Les milieux de végétation apparaissent comme les plus riches (Bournaud et Cogerino, 1986 ; Tachet et *al.*, 2006). Ils constituent des supports sur lesquels se déposent des éléments surtout organiques. Les racines constituent, à cet égard, un véritable filtre le long des berges où s'accumulent les débris organiques.

I.1.4. Évaluation de la qualité de l'habitat des macroinvertébrés benthiques

La diversité biologique des rivières est étroitement liée à la qualité de l'habitat. Elle permet d'établir l'intégrité écologique du cours d'eau étudié en offrant des informations utiles sur les caractéristiques globales du milieu étudié (Moisan et Pelletier, 2008 et 2011). Tachet et *al.* (2006) mentionnent à cet effet que la connaissance de l'animal n'a d'intérêt que si on lui donne une signification écologique.

Plusieurs facteurs influencent la répartition spatiale des macroinvertébrés benthiques. Parmi les plus importants, on peut citer la vitesse du courant, la nature et l'hétérogénéité du substrat ainsi que la température de l'eau (Hynes, 1970). Mais dans un écosystème non perturbé, les caractéristiques de l'habitat constituent les principaux facteurs qui déterminent la distribution des macroinvertébrés (Hynes, 1970 ; Cummins, 1975; Hellawell, 1986).

L'habitat des macroinvertébrés benthiques est caractérisé par des composantes biologiques (végétation, animaux), physiques (substrat, écoulement) et chimiques (pH, ions dissous). Deux types d'approches permettent d'évaluer cet habitat : l'approche monohabitat et l'approche multihabitat (Moisan et Pelletier, 2008 et 2011). Ces deux approches utilisent une dizaine d'indicateurs de l'environnement que sont le degré de marnage, la végétation aquatique et de bordure, le type de substrat, le type d'écoulement, la vitesse du courant, les habitats aquatiques, les substrats de fosses, la variété des fosses, le type de courant, la sédimentation, la protection végétale des berges. Les indices qui découlent de l'exploitation de ces paramètres sont l'Indice de Qualité de l'Habitat (IQH) et l'Indice de Qualité de Bande Riveraine (IQBR) afin d'établir le lien entre l'intégrité biologique et l'habitat.

I.1.5. Notion de cours d'eau temporaires

Un cours d'eau temporaire désigne un chenal qui ne contient de l'eau que pendant une durée limitée et qui le reste du temps est à sec (Colburn et Brian, 2008). Levick et *al.* (2008)

définissent un cours d'eau temporaire comme étant un cours d'eau ou une partie du cours d'eau qui coule brièvement en réponse directe aux précipitations dans le voisinage immédiat et dont le canal est en tout temps au-dessus du réservoir d'eau souterraine. On retrouve les cours d'eau temporaires sur tous les continents, sous toutes les latitudes et dans tous les biomes (Colburn & Brian, 2008). Les cours d'eau temporaires contiennent de l'eau pendant une période plus ou moins suffisante pour que la vie aquatique s'y développe. Certains sont à sec la plupart du temps, alors que d'autres ne subissent des périodes de sécheresse qu'à de rares occasions. Le régime d'inondation des cours d'eaux temporaires a permis une classification en cinq catégories : éphémère, épisodique, intermittent, saisonnier et quasi permanent (Tab. I). Ce régime varie en fonction du climat, de la géographie ou de l'action humaine.

Tableau I : Classification des eaux temporaires en fonction du régime d'inondation (Dudley, 2006)

Catégorie	Ephémère	Episodique	Intermittent	Saisonnier	Quasi permanent
Régularité et durée de l'inondation	Inondations imprévisibles, de courtes durées, généralement par la pluie ou par le ruissellement. Les plans d'eaux créés s'assèchent dans les jours qui suivent et n'abritent généralement qu'une vie microscopique	Inondations rares et irrégulières. Les plans d'eaux sont à sec la plupart du temps. L'eau peut persister plusieurs mois.	Les périodes d'inondation et de sécheresse alternent de façon irrégulière. Les périodes d'inondation peuvent s'étendre sur plusieurs mois ou des années.	Alternance régulière et prévisible des périodes d'inondation et de sécheresse suivant la saison.	Présence d'eau presque continue avec des périodes de sécheresse occasionnelles et courtes. La majorité des espèces de ce milieu sont intolérantes à l'assèchement

Excepté les grands fleuves d'origine allochtone (Sénégal, Niger, Logone-Chari et Nil), le réseau hydrographique soudano-sahélien est constitué dans leur majorité de cours d'eau éphémères débouchant dans des mares et petits lacs temporaires (Koubra, 2016). Ces cours d'eau temporaires ont un rôle écologique important car ils constituent généralement le seul moyen d'approvisionnement en eau pour la faune et l'homme.

Dans un cours d'eau temporaire, au cours de la permanence des eaux, il existe plusieurs zones qui interagissent les unes avec les autres et jouent un rôle important dans les cycles des éléments nutritifs de l'eau. La zone située entre les interstices des alluvions déposés dans le cours d'eau est appelée zone hyporhéique (Angelier, 2000). Cet auteur le décrit comme étant un milieu plus stable que l'horizon superficiel du substrat. La zone hyporhéique fournit au cours d'eau temporaire une intégrité chimique, biologique et physique. Lorsque l'eau coule, l'alluvion

et l'eau de surface interagissent pour échanger des nutriments nécessaires à la vie aquatique (Levick et *al.*, 2008)

I.1.6. Principales méthodes d'étude des cours d'eau : notion de surveillance écologique

Avec les effets néfastes grandissants de la pollution anthropique, il est important de se préoccuper de la santé des écosystèmes aquatiques en général et des écosystèmes lotiques en particulier, réceptacles ultimes de toutes les pollutions environnementales. Cette préoccupation s'opère par la mise sur pied des systèmes de surveillance nécessaires à l'amélioration et au bon maintien de l'intégrité écologique des pays. Deux méthodes sont généralement utilisées en hydrobiologie pour surveiller la qualité des eaux courantes : les méthodes physicochimiques et les méthodes biologiques.

I.1.6.1. Méthodes physicochimiques

Les méthodes physicochimiques reposent sur les prélèvements d'échantillons d'eau de façon régulière et sur l'analyse de ces échantillons au laboratoire. Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée plus les résultats sont représentatifs et fiables. Elle peut être nyctémérale, hebdomadaire, mensuelle, annuelle, saisonnière...

Il n'existe aucune règle générale dictant la période et la fréquence d'échantillonnage. Hébert et Légaré (2000) indiquent que, dans le cadre d'un suivi à long terme visant à tracer l'évolution temporelle de la qualité de l'eau, un échantillonnage mensuel d'une durée minimale de quatre ans est statistiquement requis. S'il s'agit de mesurer l'impact d'une source de pollution, il faut tenir compte des conditions hydrologiques (débit, période de crue et d'étiage), des conditions météorologiques (importance et intensité des précipitations) et des événements pouvant influencer la charge polluante (période d'épandage et d'arrosage, débordements d'eaux usées, etc.).

La qualité physico-chimique des eaux, associée à celle des microhabitats aquatiques joue un rôle déterminant dans la capacité du milieu à accueillir les communautés biologiques. La diversité biologique et structurelle des rivières est étroitement liée à l'intégrité abiotique du milieu (Moisan et Pelletier, 2008). D'après Hébert et Légaré (2000), les paramètres physicochimiques le plus souvent mesurés lors du suivi de la qualité d'une rivière incluent la température, le pH, la turbidité, l'oxygène dissous, la demande biochimique en oxygène (DBO₅), le phosphore dissous, le phosphore en suspension, les différentes formes de l'azote

(nitrites-nitrates, azote ammoniacal, azote total), le carbone organique dissous (COD), les matières en suspension (MES), la conductivité électrique. Par ailleurs, ils mentionnent que la décision devraient tenir compte des facteurs tels que :

- la qualité de l'eau observée dans les études antérieures ;
- les problèmes de qualité de l'eau et de pollution appréhendés ;
- la précision et la sensibilité des instruments et techniques d'analyse disponibles ;
- l'expertise des responsables ;
- le coût de l'échantillonnage (équipement et analyses).

Moisan et Pelletier (2008, 2011) quant à elles indiquent qu'en ce qui a trait à la qualité de l'eau lors de l'évaluation de l'intégrité écologique d'un hydrosystème lotique, la seule mesure obligatoire est la température. Les analyses supplémentaires permettent cependant de mieux documenter la qualité de l'eau à la station et les paramètres proposés sont le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, l'azote total, le phosphore total, le carbone organique dissous, les solides en suspension, la turbidité et l'alcalinité.

Seuls la température, la conductivité électrique, les sels minéraux (nitrates, ammonium, orthophosphates) et le pH seront mesurés dans le cadre de cette étude. Ceci est dû au fait que les réactifs indispensables à la mesure de la dureté totale, de la dureté calcique, de l'oxygène dissous, du gaz carbone dissous, du calcium et des chlorures n'ont pas résisté aux fortes chaleurs qui sévissent dans la Région de l'Extrême Nord du Cameroun.

I.1.6.1.1. Température

La température est un facteur écologique essentiel à la distribution de nombreuses espèces (Pourriot et *al.*, 1982). Chaque organisme possède d'ailleurs son préférendum de température en-dessous et au-dessus duquel son activité se trouve modifiée. Du fait de son rôle physiologique (Pourriot et Rougier, 1997), la température est considérée comme une variable écologique fondamentale (Odum, 1959). Ainsi, Rhée et Gothan (1981) montrent que la dégradation des composés organiques et la cinétique des réactions physico-chimiques sont fortement affectées par la température. En outre, les modifications d'un régime thermique des eaux entraînent d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968).

I.1.6.1.2. pH

Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau (Arrignon, 1976). Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de multiples facteurs, dont les conditions édaphiques des terrains traversés (Dejoux, 1988), mais aussi des déversements industriels. Le pH des eaux naturelles varie généralement entre 5 et 9 (Angelier, 2000). Son augmentation au-dessus de 9 ou sa baisse en dessous de 5 peut rendre le milieu toxique pour divers organismes (Dabbadie, 1992).

I.1.6.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau matérialise sa teneur en sels ionisables dissous (Zébazé Togouet, 2011). Elle donne une bonne indication du degré de minéralisation des eaux (Nisbet et Verneaux, 1970). D'une manière générale, la conductivité sera d'autant plus importante que la minéralisation sera élevée. La conductivité électrique dépend de la nature géochimique des roches traversées mais aussi des activités humaines. Elle peut servir pour détecter l'origine de la pollution et son augmentation excessive entraîne une perturbation du milieu en influant sur la pression osmotique (APHA, 1998).

I.1.6.1.4. Orthophosphates

Les orthophosphates représentent la forme de phosphore assimilable par les organismes vivants. Dans les rivières, le phosphore se présente généralement sous forme dissoute (organique et inorganique) ou particulaire (Lefèbvre, 2003). Le phosphore est naturellement présent dans certaines roches ignées ou sédimentaires. Son lessivage par les processus naturels d'érosion conduit à sa solubilisation dans les milieux aquatiques. En absence d'intervention humaine, les eaux de surface contiennent très peu de phosphates. Cependant, les rejets d'eaux domestiques et industrielles riches en détergents phosphorés constituent de nos jours la principale source de pollution des eaux par les phosphates (Dejoux, 1988). De plus, dans les pays où la production agricole est développée, l'utilisation d'engrais phosphatés peut constituer une autre source artificielle d'enrichissement des eaux en phosphore. Cet enrichissement conduit généralement à une augmentation de la productivité des eaux et par conséquent, à leur eutrophisation accélérée (Duchaufour, 1997).

I.1.6.1.5. Formes d'azote

L'azote est l'un des constituants majeurs de l'atmosphère et des organismes vivants. L'azote qui transite dans les rivières est sous une forme soit dissoute soit particulaire (Lefebvre,

2003). Dans les systèmes peu anthropisés, la majeure partie de l'azote dissous est de forme organique (Hedin *et al.*, 1995). En effet, la putréfaction des végétaux et des animaux morts et l'élimination d'urines ou d'excréments apportent de grandes quantités d'azote organique. Le processus d'ammonification de cet azote conduit entre autres à la production d'ions ammonium (Huang et Wosniak, 1981 ; Newbold, 1992 ; Hedin *et al.*, 1995). Au contraire, dans les rivières dont les bassins versants sont fortement anthropisés, le nitrate domine la composition en azote de l'eau (Howarth *et al.*, 1996). Ces observations sont en rapport avec les pollutions diffuses qui découlent de l'utilisation intensive des engrais azotés, des effluents d'élevage et de l'industrie alimentaire qui durant plusieurs années a utilisé les nitrites comme agents antimicrobiens. Cette forme d'azote est la plus dangereuse car elle est source de déséquilibre trophique dans les écosystèmes aquatiques et peut causer des problèmes de santé humaine (Galloway *et al.*, 2003 ; OMS, 2006). En général, la présence de l'ammonium, des nitrites et des nitrates en grande quantité et de façon durable dans des eaux naturelles indique un état de pollution (Verneaux, 1973 ; Dejoux, 1988).

L'analyse chimique est le seul moyen de connaître précisément la nature d'un polluant et d'obtenir sa teneur dans l'eau (Leclercq, 2001). Les méthodes chimiques donnent des résultats valables mais ne renseignent pas sur l'effet de substances toxiques sur les écosystèmes aquatiques, pas plus que sur la perte ou la dégradation d'habitats essentiels au maintien de la vie aquatique (Hébert, 1997). C'est pourquoi, la détection chimique doit être complétée par des méthodes complémentaires, comme un indice biologique, pour en arriver à un diagnostic complet (Hébert, 1997).

I.1.6.2. Méthodes biologiques

Les méthodes biologiques reposent sur l'utilisation d'organismes ou d'un ensemble d'organismes vivants susceptibles de réagir de façon plus ou moins sélective aux perturbations du milieu. Les organismes vivants intègrent mieux les perturbations ayant eu lieu ou encore présentes dans l'environnement. Ces organismes sont appelés indicateurs biologiques ou bioindicateurs. Les bioindicateurs renseignent sur les modifications biotiques ou abiotiques d'un cours d'eau et donc sur les variations de différents facteurs du milieu. Ces modifications peuvent faire diminuer ou augmenter le nombre d'individus de la population, selon qu'elles affectent positivement ou négativement différents paramètres de vie de ces organismes au niveau comportemental, morphologique, tissulaire ou physiologique (Touzin, 2008). La

surveillance biologique s'avère donc l'outil principal pour évaluer la santé biologique des milieux aquatiques (U.S. EPA, 2002).

Un bon bioindicateur doit avoir des exigences écologiques très spécifiques afin qu'on puisse faire un lien direct entre sa présence/absence et une particularité environnementale (Leclercq, 2001). Les indicateurs biologiques sont le plus souvent associés à des indices biotiques ou biologiques. Parmi les indices les plus couramment utilisés, on peut citer les indices de diversité (H' et J), l'indice biologique global normalisé (IBGN), l'indice des diatomées, l'indice des oligochètes, l'indice des poissons, l'indice des macrophytes, l'indice de Hilsenhoff (HBI).

L'intégrité biologique est généralement un bon indicateur de l'intégrité écologique (U.S. EPA, 2002). En effet, bien que l'intégrité écologique d'un cours d'eau soit une combinaison des intégrités chimique, physique et biologique, la dégradation d'une ou de plusieurs de ces composantes se reflète généralement dans les communautés biologiques (Moisan et Pelletier, 2008).

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

Les organismes vivants les plus utilisés pour rendre compte de la qualité des eaux sont les bactéries, le phytoplancton, le zooplancton et les macroinvertébrés benthiques (Foto Menbohan, 2012). En effet, ces organismes ont été utilisés plusieurs fois dans l'étude des plans d'eau du Cameroun. Ainsi, Nola (1996) et Nola *et al.* (1999) se servent des bactéries dans l'évaluation de la qualité des eaux des puits, alors que Djuikom (1998) les utilise pour l'appréciation de la qualité des eaux des cours d'eau anthropisés. Le phytoplancton et le zooplancton ont été exploités par Njiné (1977), Foto Menbohan (1989), Foto Menbohan *et al.* (2006), Zébazé Togouet *et al.* (2006), Kemka *et al.* (2009), Zébazé Togouet (2011), Foto Menbohan *et al.* (2011), et Foto Menbohan (2012) dans le diagnostic de l'état de santé des cours d'eau et dans la description de l'eutrophisation du Lac Municipal de Yaoundé. L'importance des macroinvertébrés benthiques dans l'évaluation de l'intégrité biologique des cours d'eau a été mise en évidence (Foto Menbohan *et al.*, 2010, 2011 et 2012 ; Foto Menbohan, 2012 ; Onana *et al.*, 2014, 2015 et 2016 ; Tchakonté, 2014, 2015a et b).

Dans le cadre de ce travail, seuls les macroinvertébrés benthiques seront étudiés.

I.2. MACROINVERTEBRES BENTHIQUES EN TANT QUE BIOINDICATEURS ET ECOLOGIE DES EAUX COURANTES

I.2.1. Définition

Dans les milieux aquatiques, le benthos se définit comme l'ensemble des organismes vivant sur le fond (Pèrès, 1976; Hicks, 2002). Il comprend une fraction végétale appelée phytobenthos et une fraction animale, le zoobenthos (Diomandé, 2001). Ces organismes du zoobenthos peuvent être sessiles quand ils sont fixés à demeure, sédentaires lorsqu'ils sont capables de mouvements lents et de faibles amplitudes ou vagiles s'ils sont très mobiles. Ils forment deux grands groupes : les microinvertébrés et les macroinvertébrés. Les microinvertébrés ont une taille dépassant rarement le millimètre alors que les macroinvertébrés mesurent au moins 3-5 mm au dernier stade de leur développement (Cummins 1975 ; Tachet et *al.*, 2006). Les macroinvertébrés qui font l'objet de notre étude peuvent atteindre souvent 10-35 mm (Cummins et Van-Deneden, 1996).

Les macroinvertébrés benthiques regroupent tous les organismes aquatiques visibles à l'œil nu, dépourvus d'un squelette ossifié ou cartilagineux et qui vivent au fond des ruisseaux, des rivières, des lacs et des marais (Moisan, 2010). On les retrouve également dans les débris organiques et sur les macrophytes où ils passent la totalité de leur cycle de vie ou une partie seulement (Rosenberg et Resh, 1996). Sont classés dans le groupe des macroinvertébrés aquatiques les larves d'insectes aquatiques, quelques insectes aquatiques adultes, les crustacés, les mollusques et les vers aquatiques ayant une phase au moins de leur cycle de vie en milieu aquatique et qui sont retenus par un filet de 200-500 μm de porosité de maille (Rosenberg et Resh, 1993). Leurs habitats sont constitués de plusieurs types de substrats dont les substrats durs (blocs de pierres, les cailloux, etc...), les substrats meubles (graviers, sables, limons, vases, les argiles) et les macrophytes (Algues, Mousses, Phanérogames) ainsi que les débris organiques (branchages et les feuilles) (Tachet et *al.*, 1987). De ce fait, on les retrouve dans les zones humides, les ruisseaux, les rivières, les lacs, les étangs et les réservoirs, dans les estuaires et les lagunes. Ils constituent un groupe essentiel notamment au niveau de la transformation de la matière organique, la nourriture des poissons et la pollution (Tachet et *al.*, 2006).

I.2.2. Eléments d'écologie et de biologie des macroinvertébrés benthiques

Chaque groupe zoologique composant la macrofaune benthique est régi par des caractéristiques propres déterminant sa survie dans le milieu. Chacun joue un rôle bien précis dans l'écosystème qui l'abrite.

I.2.2.1. Mollusques

De par le nombre d'espèces (environ 120 000 espèces), les mollusques constituent un groupe important dans diverses chaînes écologiques (Martoja, 1995 ; Lecointre et LeGuyader, 2001). Ils font l'objet d'une exploitation économique, alimentaire et aussi esthétique (Boni, 2005). Ils sont consommés par plusieurs espèces de poissons africains (Slootweg et *al.*, 1993). L'embranchement des Mollusques comprend 8 classes dont 7 actuelles et une éteinte (Heller, 1993). Les Gastéropodes et les Bivalves sont les classes les plus abondantes dans les eaux douces tropicales (Tachet et *al.*, 2006). Les Gastéropodes dulcicoles comprennent 2 sous-classes que sont les Prosobranches et les Pulmonés. Près de 2/3 des espèces de Gastéropodes sont hermaphrodites (Heller, 1993). Cette spécificité leur octroie la possibilité de se reproduire par autofécondation, allofécondation ou par un système mixte, en fonction des facteurs écologiques du milieu (Boni, 2005).

Selon Mouthon (2001), les mollusques exercent un impact prépondérant sur le milieu. Les Bivalves filtrent de grandes quantités d'eau (Unionidae, 300 mL/ind./h ; Dreissenidae, 35 mL/ind./h ; Sphaeriidae, 2,2 mL/ind./h) prenant ainsi une part active aux phénomènes de sédimentation et d'épuration des eaux. Ces organismes concentrent de nombreuses substances telles que les métaux lourds, les pesticides, les radionucléides et modifient la qualité du sédiment en excréant sous forme de pseudo-fèces une fraction parfois importante des microorganismes planctoniques capturés et non utilisés pour la nutrition, les rendant ainsi accessibles aux invertébrés détritivores tels que les Oligochètes et les Diptères (Chironomidae par exemple). Les fèces de Gastéropodes, riches en mucoprotéines, constituent aussi une nourriture facilement assimilable par la faune détritiphage (Mouthon, 2001).

L'étude des mollusques a également un intérêt médical et vétérinaire. Ce sont des organismes jouant un rôle important dans la transmission de parasitoses animales et humaines. Par exemple, le cycle de développement des schistosomes dans sa phase aquatique passe par un mollusque gastéropode d'eau douce spécifique (*Biomphalaria glabrata* pour *Schistosoma mansoni* et le genre *Bulinus* pour *Schistosoma haematobium*) sans lequel il ne peut être achevé

(N’Goran, 1997). Les schistosomes sont les agents pathogènes de la schistosomiase qui est la plus importante de toutes les maladies transmises par l’eau ayant un fort impact socio-économique et sur la santé publique (N’Goran, 1997). Les douves, parasites de la panse et du foie des ruminants, accomplissent leur cycle par l’intermédiaire des mollusques d’eau douce (*Lymnaea trunculata*, *Helicella* par exemple). Certains mollusques sont utilisés dans la lutte biologique contre les vecteurs des maladies parasitaires. Leur utilisation peut offrir une alternative intéressante à l’emploi de molluscides qui sont chers et ont un impact sur la faune locale (Anonyme, 1984).

I.3.2.2. Annélides

Les annélides sont des protostomiens, hyponeuriens à symétrie bilatérale, leur corps est constitué de métamères disposés les uns à la suite des autres (Anonyme, 2012). Ils vivent essentiellement dans l’eau même si certaines espèces comme *Lumbricus terrestris* vivent dans le sol. Ils servent de proies pour de multiples organismes (poissons, oiseaux, rongeurs, amphibiens, et de même qu’aux invertébrés). Ils interviennent dans la décomposition de la matière organique et l’aération du sol, augmentant ainsi sa fertilité. On dénombre entre 10 000 espèces identifiées, réparties en 17 ordres et 80 familles. La reproduction chez les annélides est sexuée, et ces animaux sont généralement hermaphrodites. L’embranchement des Annélides se divise en trois classes : les Polychètes, les Oligochètes et les Achètes.

Les Polychètes sont caractérisés par la présence de nombreuses soies souvent portées sur des parapodes de formes très variables. Ils sont errants (exemple des Néreiformes) et sédentaires (comme les Sabelliformes). Les polychètes errants creusent des galeries dans le sédiment desquelles ils peuvent sortir pour se nourrir ; mais ils peuvent les abandonner à la recherche d’un habitat meilleur.

Les Oligochètes sont caractérisés par la présence de 2 paires de faisceaux de soies dont une paire latéro-ventrale et une paire latéro-dorsale. Chez les individus sexuellement matures, il existe un épaissement glandulaire dénommé clitellum en relation avec l’appareil génital. Les Oligochètes sont hermaphrodites. Ils sont souvent limicoles et pour la plupart terrestres. Ils vivent essentiellement dans des sols humides ou en eau douce. On les retrouve souvent en masses grégaires. L’importance de leur nombre est en relation avec la richesse en matière organique des sédiments dans lesquels ils vivent. Les Oligochètes dans leur immense majorité sont détritivores se nourrissant de matières organiques fortement décomposées (Tachet et *al.*, 2006). Certaines espèces sont carnivores et d’autres exclusivement algivores. En dépit de la

présence des soies, les Oligochètes constituent une source importante de nourriture pour de très nombreux macroinvertébrés et aussi pour les poissons (juvéniles et alevins notamment).

Les Hirudinées ou sangsues sont aplatis dorso-ventralement, de forme ovale ou allongée selon son niveau de contraction. Leur corps est dépourvu de soie et d'appendice. Ils peuplent aussi les milieux marins que les eaux douces. Ils ont une ventouse très développée à l'extrémité postérieure (ou le prostomium) et souvent une autre plus petite à l'extrémité antérieure (le pygidium). Ils sont en partie des parasites temporaires d'animaux marins, terrestres ou d'eau douce les plus connus sont des parasites du corps et de la cavité buccale de plusieurs vertébrés (des poissons jusqu'à l'homme).

I.3.2.3. Crustacés

Les Crustacés sont une classe d'Arthropodes dont le corps est recouvert d'une cuticule chitineuse plus ou moins rigide et souvent imprégnée de calcaire (Grassé et Doumenc, 1993). Cette cuticule peu extensible leur impose le recours aux mues pour réaliser leur croissance. On dénombre aujourd'hui plus de 350 000 espèces de crustacés pour la plupart vivant en milieu marin et saumâtre. La classification la plus utilisée pour cette classe est basée sur la diversité morphologique, appendiculaire, éthologique. Elle permet de distinguer sept sous-classes de Crustacés dont trois correspondent à des macroinvertébrés :

- la sous-classe des Brachioures constitue un groupe homogène présent en milieu marin et en eau douce. Le corps est aplati dorso-ventralement et porte une carapace dorsale. Les yeux sont composés. Tous ectoparasites des poissons ;
- la sous-classe des Branchiopodes présents surtout dans les mares et les milieux aquatiques temporaires. Leurs antennes sont réduites. Ils portent un œil naupléen et des yeux composés pédonculés ou sessiles (Tachet et *al.*, 2006).
- la sous-classe des Malacostracés, la plus importante par sa diversité et avec des animaux de taille moyenne (les Précarides) ou grande (les Décapodes) (Grassé et Doumenc, 1993).

Les crustacés sont aussi utilisés pour calculer les indices trophiques. Par exemple les Amphipodes sont connus indicateurs de la bonne qualité de l'eau mais quelques familles habitent les milieux enrichis en matières organiques (Adandedjan, 2012).

I.3.2.4. Insectes

La classe des Insectes appartient au sous-embranchement des Hexapodes et à l'embranchement des Arthropodes (WCMC, 1992). Selon la même source, les insectes sont encore appelés mandibulates et représentent le groupe le plus important du règne animal, par la diversité des formes, par l'étendue des habitats colonisés et par le nombre des espèces connues (près d'un million d'espèces décrites, soit environ les 2/3 des espèces animales connues). Il pourrait en exister 30 millions (WCMC, 1992 ; Novotny et *al.*, 2002a et b). Cette classe est subdivisée en deux sous-classes que sont les Aptérygotes qui se caractérisent par l'absence d'ailes et les Ptérygotes qui sont les plus diversifiés avec la présence des ailes.

Sur l'ensemble des 27 Ordres d'insectes décrits, seuls 12 Ordres ont des représentants ayant au moins une phase de leur développement adaptée à la vie aquatique (Elouard, 1981, Durand et Lévêque, 1981 ; Moisan, 2010). Les Ordres les plus rencontrés dans les milieux aquatiques tropicaux sont ceux des Coléoptères, des Diptères, des Ephéméroptères, des Plécoptères, des Hémiptères, des Hétéroptères, des Hyménoptères, des Lépidoptères, des Trichoptères et des Odonates (Elouard, 1981). Biram et *al.* (2018) a découvert la présence des Dictyoptères dans quelques cours d'eau du bassin de la Mefou dans la Région du Centre du Cameroun.

Les insectes sont ubiquistes et se rencontrent sous tous les climats, colonisent toutes les latitudes, sur la terre comme sous les eaux. Le corps des insectes comprend fondamentalement (1) une tête portant une paire d'antennes, les yeux ou des stemmates et les pièces buccales ; (2) un thorax portant 6 pattes articulées (d'où le nom Hexapodes) et 2 paires d'ailes chez l'adulte ptérygote ; (3) un abdomen dépourvu d'appendice. Leur cycle vital varie de quelques semaines (pour les Diptères Simuliidae par exemple) à des années (par exemple, les Plécoptères Perlidae). Ces animaux n'effectuent pas tout leur cycle de vie dans un seul type d'habitat (Edia, 2008). Les lieux où ils grandissent, se reproduisent et trouvent leur nourriture sont le plus souvent différents. En effet, la majorité d'entre eux possèdent des phases préimaginales (larvaire et nymphale) franchement aquatiques. C'est le cas des Trichoptères, Odonates, Ephéméroptères, Plécoptères et de la majorité des Diptères Nématocères (Elouard, 1981). D'autres comme les Sisyridae possèdent des larves aquatiques et des nymphes arboricoles (Novotny et *al.*, 2002b). Par contre, certains Coléoptères sont aquatiques aux stades larvaire et imaginal tandis que d'autres insectes ne sont pas franchement aquatiques mais plutôt subaquatiques ou simplement hydrophiles (Durand et Lévêque, 1981 ; Moisan, 2010). C'est le cas de la majorité des Diptères

Brachycères, des Collemboles, des Hétéroptères de la famille des Veliidae et de la famille des Hygrometridae (Durand et Lévêque, 1981 ; Edia, 2008).

Les insectes jouent un rôle écologique très important dans les hydrosystèmes. Les larves et les nymphes sont consommées par des oiseaux aquatiques, des batraciens (grenouilles, crapauds, salamandres), des poissons, des crustacés (Copepoda, Cyclopoida), des plantes carnivores, des nématodes, etc. (Cummins et Klug, 1979; Armitage et *al.*, 1983). D'autres insectes prédateurs (Chaoboridae, Notonectidae, Coléoptères, Libellules...) se nourrissent aussi de larves d'insectes. On distingue également dans ce groupe des filtreurs tandis que d'autres se nourrissent de micro-organismes et de déchets organiques (Dauer et *al.*, 2000; Llanso et *al.*, 2002). Ils participent donc de façon importante à la bioépuration des eaux. Leurs déjections et leur cadavre renferment d'énormes quantités d'azote indispensables à la croissance des plantes (Novotny et *al.*, 2002b).

Les insectes sont également incriminés dans la transmission de nombreuses maladies (Yaméogo et *al.*, 2004). La malaria qui est l'une des plus répandues est véhiculée par une variété de Diptères Culicidae et Anophelidae dans les pays chauds. Par ailleurs, les insectes sont impliqués dans la transmission de diverses zoonoses dans le monde.

I.2.3. Macroinvertébrés benthiques des cours d'eau temporaires

De nombreuses études comparatives sur la composition des macroinvertébrés des rivières temporaires et celle des rivières pérennes révèlent que la majorité des taxons sont communs aux deux écosystèmes (Durand et Lévêque, 1981 ; Williams, 1987 ; Delucchi et Peckarsky, 1989 ; Boulton et Lake, 1992a ; Dieterich, 1992 ; Feminella ; 1996 ; Banks ; 2005 ; Beche et *al.*, 2006). Ces auteurs qualifient plusieurs espèces de facultatives capables de coloniser aussi bien les cours d'eau pérennes que les cours d'eau temporaires. Leur réussite en milieu temporaire est due à la synchronisation de leur cycle biologique avec le cycle hydrologique (Angelier, 2000). Les organismes d'eau temporaire se distinguent cependant par leurs adaptations à survivre aux périodes de sécheresse qui caractérisent les eaux temporaires.

L'assèchement est la caractéristique clé influençant la distribution, l'abondance et le cycle vital de la macrofaune des écosystèmes aquatiques temporaires (Boulton et Suter, 1986 ; Stanley et Fischer, 1992 ; Boulton et Lake, 1992b). Les invertébrés ont mis sur pied des mécanismes d'adaptations leur permettant d'accomplir et d'achever leur cycle de vie dans ces milieux. La diapause, la quiescence, le refuge dans la zone hyporhéique et dans une moindre

mesure la fuite constituent les principales stratégies adoptées par les macroinvertébrés benthiques pour subsister au dessèchement du milieu (Angelier, 2000 ; Colburn et Brian, 2008 ; Mazzacano et Hoffmann Black, 2008). Ainsi, les formes de résistance des invertébrés aquatiques aux conditions défavorables sont les œufs, les pupes, les larves et les adultes.

I.2.4. Modes d'alimentation des organismes benthiques

La classification des groupes alimentaires fonctionnels chez les invertébrés benthiques tient compte du type de nourriture ingérée et des mécanismes d'acquisition de cette nourriture (Cummins et *al.*, 2005). Ainsi :

- les **broyeurs ou fragmentateurs** (Shredders) sont les invertébrés qui dilacèrent les grosses particules de matière organique (feuilles, bois, litière). Ils sont donc des broyeurs herbivores (par exemple, les Coléoptères Curculionidae, les Trichoptères Limnephilidae) ou des broyeurs détritivores (certains Plécoptères, Diptères Tipulidae et des Crustacés). Les broyeurs détritivores ingèrent aussi bien des microinvertébrés que des débris.

- les **racleurs/broueteurs** (=Scrapers/ Grazers) récoltent les algues et aliments associés ou attachés au substrat. D'après Tachet et *al.* (2006), ce groupe présente des modifications au niveau des pièces buccales qui prennent l'aspect de brosse. Cette modification morphologique leur permet de brosser les substrats. C'est le cas des Ephéméroptères (Heptageniidae), des Trichoptères (Glossosomatidae), des Gastéropodes (Lymnaeidae), des Isopodes et des Décapodes.

- les **collecteurs** consomment les fines particules de matière organique. On distingue deux groupes de collecteurs : les **collecteurs-filtreurs** (collectors-filterers) qui exploitent les fines particules en suspension dans la colonne d'eau et les **collecteurs-rassembleurs** (collectors-gatherers) qui les acquièrent à partir des interstices des sédiments ; c'est le cas de certains Diptères (Chironomidae), certains Ephéméroptères (Baetidae) et des Gastéropodes). La filtration se fait avec des dispositifs morphologiques ou comportementaux. On trouve par exemple chez certains Arthropodes aquatiques des adaptations morphologiques (comme la présence de soies sur la première paire de pattes) facilitant la filtration (Tachet et *al.* 2006). C'est le cas des Ephéméroptères Oligoneuriidae, des Trichoptères Brachycentridae, des Diptères Simuliidae, des Crustacés (Corophiidae), des bivalves et des Sabellides.

- les **prédateurs** sont les macroinvertébrés qui capturent et consomment des proies vivantes (Merrit et Cummins, 1996b). C'est à ce groupe qu'appartiennent les insectes Odonates et les Hétéroptères (Mandaville, 2002 ; Tachet et *al.*, 2006)

I.2.5. Intérêt de l'étude de la macrofaune benthique : macroinvertébrés et pollution

La structure des communautés de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes aquatiques, notamment des cours d'eau, et pour fournir des informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat (Hily, 1984 ; Hellowell, 1986 ; Barbour et *al.*, 1999 ; Borja et *al.*, 2000; Douglas et Mitsch, 2002; Grall et Glémarec, 2003; Woodcock et Huryn, 2007). Elle peut être utilisée pour détecter une pollution organique, métallique et même une acidification du milieu (Chessman, 1995 ; Camargo et *al.*, 2004). Selon ces derniers auteurs, leur utilisation repose essentiellement sur l'exploitation des données concernant leur façon de se nourrir, de se reproduire et d'exploiter leur milieu de vie. Ainsi, chaque organisme possède des exigences particulières liées à l'oxygénation du milieu aquatique, à la nature du sédiment, à la température de l'eau. Confrontées à une pollution ponctuelle ou chronique, certaines espèces animales vont disparaître, d'autres vont se développer (Castel et *al.*, 1989; Nugues et *al.*, 1996; Legendre et Legendre, 1998; Deslous-Paoli et *al.*, 1998). La succession des cortèges faunistiques dans le temps va ainsi caractériser un état plus ou moins dégradé d'un milieu (De Pauw et Vanhooren, 1983).

La sensibilité différentielle des organismes aux divers polluants est à la base de leur utilisation en tant que bioindicateurs. De ce concept sont nés de nombreux indices biotiques (indices de diversité, indice biotique de Hilsenhoff, indice biologique global normalisé...). En fait, la bioindication désigne l'évaluation de la qualité des habitats à l'aide d'organismes vivants connus pour leurs capacités à refléter l'état des écosystèmes et à identifier les risques encourus par ceux-ci (Camargo et *al.*, 2004). Les polluants peuvent avoir des effets létaux ou sub-létaux. Les effets létaux causent la mort des macroinvertébrés benthiques alors que les effets sub-létaux ont plutôt comme conséquence une réorientation de l'énergie qui servait à la base pour l'alimentation et la croissance des macroinvertébrés benthiques vers des mécanismes de tolérance, comme une augmentation du coût métabolique de la respiration (Woodcock et Huryn, 2007).

Des indicateurs spécifiques de l'intégrité écologique ont été proposés dans plusieurs groupes faunistiques : Insectes, Amphipodes, Échinodermes, Polychètes et Mollusques. Ils reposent sur la caractérisation des espèces en trois groupes : espèces sentinelles en milieu non pollué, espèces à large répartition écologique en zone subnormale et espèces opportunistes en zone polluée. Selon la classification de Touzin (2008), on distingue :

- ✓ des espèces caractéristiques qui peuvent avoir des exigences écologiques strictes ou des exigences préférentielles ;
- ✓ des espèces indicatrices d'un facteur particulier, abiotique ou biotique du milieu. Ce facteur peut être naturel (nature du substrat, alternance d'immersion-émersion, etc.) ou anthropique (apports de polluants, de matière organique...).
- ✓ des espèces sentinelles qui par leur présence et leur abondance relative ont vocation d'avertissement, notamment vis-à-vis du déséquilibre de l'environnement.

L'élaboration d'une relation entre pollution organique et communauté de macroinvertébrés nécessite la connaissance du niveau de pollution ou de dégradation du cours d'eau et la connaissance du degré de sensibilité ou de tolérance de ce groupe d'organismes relativement vis-à-vis des polluants. A chaque niveau de pollution organique correspond en effet une communauté d'invertébrés benthiques.

Des cotes de tolérance des macroinvertébrés benthiques ont été établies selon leur sensibilité à la pollution organique pour évaluer la plus ou moins bonne qualité de l'eau (Hilsenhoff, 1987; Hilsenhoff, 1988; Bode *et al.*, 1996; Bode *et al.*, 2002). Elles augmentent lorsque la qualité de l'eau diminue (Mandaville, 2002) et varient sur une échelle de 0 à 10. Un lac ou une rivière présentera donc des problèmes de qualité de l'eau si l'on retrouve uniquement des macroinvertébrés benthiques tolérants. Généralement les organismes les plus tolérants sont les Oligochètes, les Diptères, les Mollusques Bivalves et les Amphipodes. Les organismes les plus sensibles sont généralement les Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères. Toutefois, dans chaque grand groupe, on retrouve des taxons tolérants ou intolérants, il faut alors effectuer une taxonomie à la famille pour être plus précis (CRVB, 2006).

I.2.6. Aperçu sur les invertébrés aquatiques des cours d'eau temporaires au Cameroun

Aucune étude en notre connaissance n'a été réalisée sur les organismes benthiques des cours d'eau temporaires au Cameroun. Des informations existantes sur ce groupe faunistique sont tirées des études menées depuis une décennie dans les cours d'eau pérennes des zones forestières et littorales. Il s'agit, en zone urbaine, principalement des travaux réalisés dans quelques cours d'eau du bassin du Mfoundi dans la Région du Centre (Nangmo, 2004 ; Ebang Menye, 2004 ; Kiampi Choffo, 2004 ; Nyamsi Tchatcho, 2004 ; Ywoung, 2004 ; Foto Menbohan, 2012) et de ceux menés dans quelques cours d'eau de Douala dans la Région du Littoral (Onana *et al.*, 2014 et 2015 ; Onana, 2016 ; Tchakonté *et al.*, 2014a,b et 2015). En zone

périurbaine, il s'agit du bassin de la Mefou avec les travaux d'Egnima Mbamou (2007), de Foto Menbohan *et al.* (2010, 2011, 2012 et 2013), de Koji (2011) et de Nyamsi Tchatcho *et al.* (2014). Ces études sont basées sur l'évaluation de l'état de santé des hydrosystèmes à partir de la qualité physicochimique des eaux et de la composition de la macrofaune benthique. Leur utilisation repose essentiellement sur l'évaluation des données concernant leur richesse, leur abondance/densité, leur composition taxinomique et leur dynamique spatiotemporelle. Leur étude a aussi permis la mise sur pied des caractéristiques d'un état référentiel pour la région écologique du Centre Sud forestier du Cameroun (Foto Menbohan *et al.*, 2010) et d'un Indice Multiparamétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY) (Nyamsi Tchatcho *et al.*, 2014).

Ces travaux révèlent que la principale cause de dégradation des milieux aquatiques est d'origine anthropique et notamment organique. On observe en outre la disparition progressive des spécimens sensibles à la pollution et un pullulement des organismes pollutotolérants (dont les plus abondants sont les Mollusques, les Diptères Chironomidae et les Annélides Oligochètes). Les groupes zoologiques les mieux représentés sont les Arthropodes (Hexapodes, Crustacés), les Mollusques et les Annélides.

I.2.7. Macrofaune benthique et intégrité biologique

L'intégrité biologique des écosystèmes est la capacité d'un milieu à abriter et à maintenir une communauté équilibrée et adaptée d'organismes qui ont une composition spécifique, une diversité et une organisation fonctionnelle semblables à celle des habitats naturels de la région (Lévêque et Mounolou, 2008). L'analyse des données de macroinvertébrés benthiques permet d'évaluer l'état de santé général des cours d'eau.

Trois groupes de méthodes différentes d'analyse des données de la macrofaune benthique peuvent servir à l'évaluation de l'intégrité biologique des communautés de macroinvertébrés benthiques :

- ✓ les méthodes avec variables simples,
- ✓ les méthodes multimétriques,
- ✓ les méthodes multivariées.

I.2.7.1. Méthodes d'analyse avec variables simples

La méthode d'analyse avec variables simples consiste à calculer des variables ou métriques exprimant différents aspects de la structure des communautés benthiques de même que des indices simples. Elle emploie quatre métriques (Moisan et Pelletier, 2008) :

- la richesse taxonomique ;
- la diversité taxonomique ;
- la composition taxonomique ;
- la tolérance ou intolérance à la pollution.

I.2.7.1.1. Richesse taxonomique

La richesse taxonomique représente le nombre de taxons présents dans un échantillon. Cette richesse de taxons reflète la santé de la communauté (Moisan et Pelletier, 2008). Le nombre de taxons varie selon le niveau d'identification ; il est donc important de mentionner le niveau d'identification utilisé. Bien que l'unité taxonomique de base soit l'espèce, Barbour et *al.* (1999) soulignent que les autres niveaux taxonomiques (genres, familles, etc.) sont des unités valides. Une richesse taxonomique élevée est habituellement indicatrice de la bonne santé d'un cours d'eau. La richesse taxonomique peut également être calculée pour certains groupes de la communauté. Ainsi, l'indice EPT est composé du nombre de taxons appartenant aux ordres des Epheméroptères, des Plécoptères et des Trichoptères.

D'autres indices peuvent découler des taxons du groupe EPT, soit l'indice éphéméroptère, l'indice plécoptère et l'indice trichoptère. Ces 3 ordres sont généralement considérés les plus sensibles à la pollution et aux perturbations (Klemm et *al.*, 1990; Resh et *al.*, 1995; Barbour et *al.*, 1999). Un nombre peu élevé de taxons d'EPT est généralement liée à un accroissement des perturbations.

I.2.7.1.2. Diversité taxonomique

L'évaluation de la diversité taxonomique utilise divers indices. Ces indices ont pour intérêt de rendre compte de l'abondance relative de chaque espèce, de comparer entre eux des peuplements et de voir comment ceux-ci évoluent dans le temps et dans l'espace (Dajoz, 1985). La diversité spécifique est fonction de la richesse spécifique et de la régularité avec laquelle les individus sont distribués parmi ces espèces (Margalef, 1958).

De nombreux indices ont été élaborés afin d'évaluer la diversité taxonomique (Dajoz, 1982 ; Washington, 1984). L'indice de diversité de Shannon-Weaver H' est le plus couramment utilisé. Cet indice tient compte du nombre d'individus de chacun des taxons identifiés.

Le tableau II indique les valeurs de H' et leur signification environnementale. Une valeur de H' élevée correspond à une communauté composée de plusieurs taxons dont les densités sont semblables, ce qui correspond habituellement à des conditions favorables du milieu. À l'inverse, une valeur de H' faible traduit des conditions de vie difficiles qui permettent à peu d'espèces de s'établir. De plus, en l'absence de compétition, ces espèces sont souvent présentes en grand nombre (Dajoz, 1985).

Tableau II : Échelle de valeur de H' et sa signification (Simboura et Zenetos, 2002)

Valeur de H'	Etat	Signification
$0 < H' < 1,5$	Mauvais	milieu azoïque très pollué
$1,5 < H' < 3$	Pauvre	milieu très pollué
$3 < H' < 4$	Modéré	milieu modérément pollué
$4 < H' < 5$	Bon	milieu/zone de transition
$H' > 5$	Haut	site de référence

L'indice de diversité H' de Shannon-Wiener est souvent associé à l'indice J d'équitabilité ou de régularité. Il permet de comparer les diversités de deux peuplements ayant des nombres d'espèces différents (Dajoz, 1985). Il est obtenu en effectuant le rapport entre la répartition des taxons obtenus par l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et une distribution fictive équitable de ces mêmes taxons.

L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 lorsque la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une même espèce, ce qui signifie le milieu est relativement peu diversifié et soumis à de facteurs contraignants et est de l'ordre de 1 lorsque toutes les espèces ont une même abondance.

I.2.7.1.3. Composition taxonomique

La composition taxonomique représente le pourcentage de l'abondance d'un taxon ou d'un groupe de taxons sur l'abondance totale des organismes présents dans une station. Selon le taxon ou le groupe de taxons analysé, une forte proportion peut être interprétée positivement ou non. Par exemple, une proportion élevée de Chironomidae ou d'Oligochètes, des taxons considérés comme tolérants aux perturbations (Barbour et *al.*, 1999; Bode et *al.*, 2002), est

généralement un signe de mauvaise santé d'un cours d'eau, alors qu'une densité relative élevée de taxons EPT est généralement un signe de bonne santé d'un cours d'eau. L'abondance relative d'un taxon peut également être calculée par rapport à l'abondance d'un groupe plutôt que par rapport à l'abondance totale. Les variables couramment utilisées dans la mesure de la composition taxonomique sont le pourcentage des EPT (%EPT), le pourcentage des Chironomides, le pourcentage des oligochètes, le pourcentage des insectes et des non-insectes (Mandaville, 2002 ; Moisan et Pelletier, 2008).

I.2.7.1.4. Tolérance ou intolérance à la pollution

Des variables et des indices basés sur le degré ou cote de tolérance des familles des macroinvertébrés benthiques (Family Tolerance Value FTV) à la pollution organique sont aussi fréquemment utilisés lors de l'évaluation de l'intégrité biologique. Les variables calculées peuvent être, entre autres, le pourcentage de taxons tolérants (FTV > 6), le pourcentage de taxons intolérants (FTV < 4), le nombre de taxons intolérants (FTV < 4) (Klemm et al., 2002) et l'indice biotique de Hilsenhoff (HBI). Ce dernier tient compte des cotes de tolérance de chacun des organismes composant la communauté. L'échelle d'interprétation des résultats obtenus pour HBI est présentée dans le tableau III ainsi que les codes-couleur correspondant.

Tableau III : Échelle d'interprétation des résultats de HBI (Hilsenhoff, 1987)

HBI	Qualité de l'eau	Degré de Pollution organique	Code couleur
0.00-3.75	Excellente	Aucune Pollution	
3.76-4.25	Très bonne	Possible mais légère pollution organique	
4.26-5.00	Bonne	Pollution Organique Probable	
5.01-5.75	Moyenne	Pollution Organique Assez Substantielle	
5.76-6.50	Plutôt mauvaise	Pollution organique substantielle	
6.51-7.25	Mauvaise	Pollution Organique Très Substantielle	
7.26-10.00	Très mauvaise	Pollution organique grave	

I.2.7.2. Méthodes d'analyse multivariée

L'analyse multivariée est définie comme un ensemble de méthodes d'analyse numérique traitant en bloc des tableaux de données, où chaque observation et chaque élément d'échantillonnage sont définis par plusieurs variables, soit les abondances d'espèces, les mesures physicochimiques, le climat par exemple (Legendre et Legendre, 1998). Cette analyse permet de grouper des stations ayant des attributs semblables. Elle est généralement construite à partir de deux matrices de données, une matrice taxonomique et une matrice d'habitat,

comportant chacune plusieurs variables. La méthode multivariée permet une utilisation optimale des bases de données biologiques, physiques et chimiques.

I.2.7.3. Méthodes d'analyse multimétrique

La méthode multimétrique est une méthode d'évaluation biologique très utilisée aux États-Unis, au Canada et en Europe. La base de cette méthode est de combiner plusieurs variables des communautés et des indices simples en une seule valeur (Barbour et *al.*, 1999). Selon ces auteurs, cette méthode est très appréciée, puisqu'elle permet d'obtenir une valeur facile à comparer avec des valeurs de référence et qu'elle a l'avantage d'inclure des informations écologiques. Les variables exploitées sont généralement % des EPT, % des chironomides, ratio EPT/Chironomides, nombre de taxa EPT, nombre total de taxons, HBI (Moisan et Pelletier, 2008).

I.2.8. Qualité de l'habitat et l'intégrité biologique

L'habitat est le premier élément structurant les communautés de macroinvertébrés benthiques, c'est pourquoi il est nécessaire de le décrire et d'en évaluer la qualité. Genin et *al.* (1997) mentionnent que le peuplement biologique d'un secteur de cours d'eau dépend d'abord des capacités naturelles de ce secteur et secondairement, des détériorations ayant pu modifier l'eau, le substrat... Il importe donc d'avoir une bonne connaissance du milieu et de la communauté de macroinvertébrés benthiques pour comprendre les liens les unissant.

La description générale de l'habitat, les résultats de l'évaluation de l'indice de qualité de l'habitat (IQH), l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) et la qualité de l'eau sont tous des éléments essentiels à l'interprétation des résultats obtenus grâce à l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques (Moisan et Pelletier, 2008). Ces auteures indiquent que, bien que sa caractérisation soit subjective, l'IQH a pour objectifs de déterminer si la rivière est apte à supporter la vie aquatique, de caractériser l'existence et la gravité de la dégradation de l'habitat et enfin, d'aider à déterminer les sources et les causes de la dégradation de l'habitat. Cet indice est également utilisé pour déterminer le degré de comparabilité entre les stations de référence et les stations testées. Les différents paramètres mesurés à l'aide de l'IQH représentent des aspects de l'habitat influençant les communautés biologiques.

I.2.8.1. Indices de Qualité de l'Habitat (IQH)

L'indice de qualité d'habitat est une évaluation du degré d'hospitalité d'un site qui met en relief certaines caractéristiques de l'habitat essentielles au maintien d'une communauté en santé (Moisan et Pelletier, 2011). Par ailleurs, cet indice est également utilisé pour déterminer le degré de comparabilité entre les stations de référence et les stations testées (Moisan et Pelletier, 2011). Cette comparaison est basée sur l'hypothèse selon laquelle la qualité de l'habitat physique disponible a une influence directe sur les communautés biologiques.

Diverses métriques sont utilisées, la fondamentale étant la nature du substrat (grossier, meuble). Une cote est octroyée à chacun des paramètres et permet de mettre en évidence les causes de dégradation de l'habitat et éventuellement de cibler des actions d'amélioration. C'est pourquoi les différents paramètres mesurés à l'aide de l'IQH représentent des aspects de l'habitat influençant les communautés biologiques (Moisan et Pelletier, 2011).

De nombreux travaux sont dédiés à la démarche à suivre lors du calcul de l'IQH (U.S. EPA, 1997 ; Barbour et *al.*, 1999 ; Moisan et Pelletier, 2008 et 2011). Au Cameroun, aucun travail publié n'a intégré ce descripteur lors de l'évaluation de l'intégrité biologique d'un système lotique. Le présent travail est le premier à utiliser l'IQH et va s'inspirer des travaux de Moisan et Pelletier (2008, 2011) pour les adapter au contexte local.

I.2.8.2. Indice de Qualité de Bande Riveraine (IQBR)

L'Indice de Qualité de la Bande Riveraine (IQBR) sert à étudier les conditions écologiques du milieu riverain. Il est construit à partir de critères caractérisant les écosystèmes riverains tels que le pourcentage de recouvrement par les arbres, le pourcentage de recouvrement par les arbustes, le pourcentage de recouvrement par les plantes herbacées naturelles, le pourcentage de recouvrement par les cultures, le pourcentage de recouvrement par le sol nu et le pourcentage de recouvrement par des structures artificielles (Moisan et Pelletier, 2008). Une cote est donnée à chaque critère afin d'obtenir la valeur finale de l'IQBR. La cote estime l'importance de chaque critère à remplir les fonctions écologiques du milieu riverain, à maintenir et à soutenir les populations animales aquatiques et terrestres dans un état équilibré et propre à celui des milieux naturels.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

II.1. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LA ZONE D'ETUDE

II.1.1. Localisation et situation géographique

L'étude est effectuée dans le Mayo Tsanaga et dans le Mayo Kaliao, deux cours d'eau temporaires s'écoulant dans le bassin du Mayo Tsanaga situé dans la Région de l'Extrême Nord du Cameroun (fig.1). L'Extrême-Nord s'étire sur près de 325 km et se situe entre les 10° et 13° de latitude Nord et les 14° et 16° de longitude Est et couvre une superficie de 34264 km² (fig.1). Le bassin du Mayo Tsanaga est un bassin allongé en forme de croissant dans le sens Est-Ouest, entre les centres de Mokolo (Ouest) et de Bogo (Est). Il s'étire entre 10° 30' et 10° 53' de latitude Nord et entre 13°42' et 14°50' de longitude Est, de Mokolo (ouest) à Bogo (est) (Nouvelot, 1973). Sa superficie est de 1535 km² (Olivry, 1986).

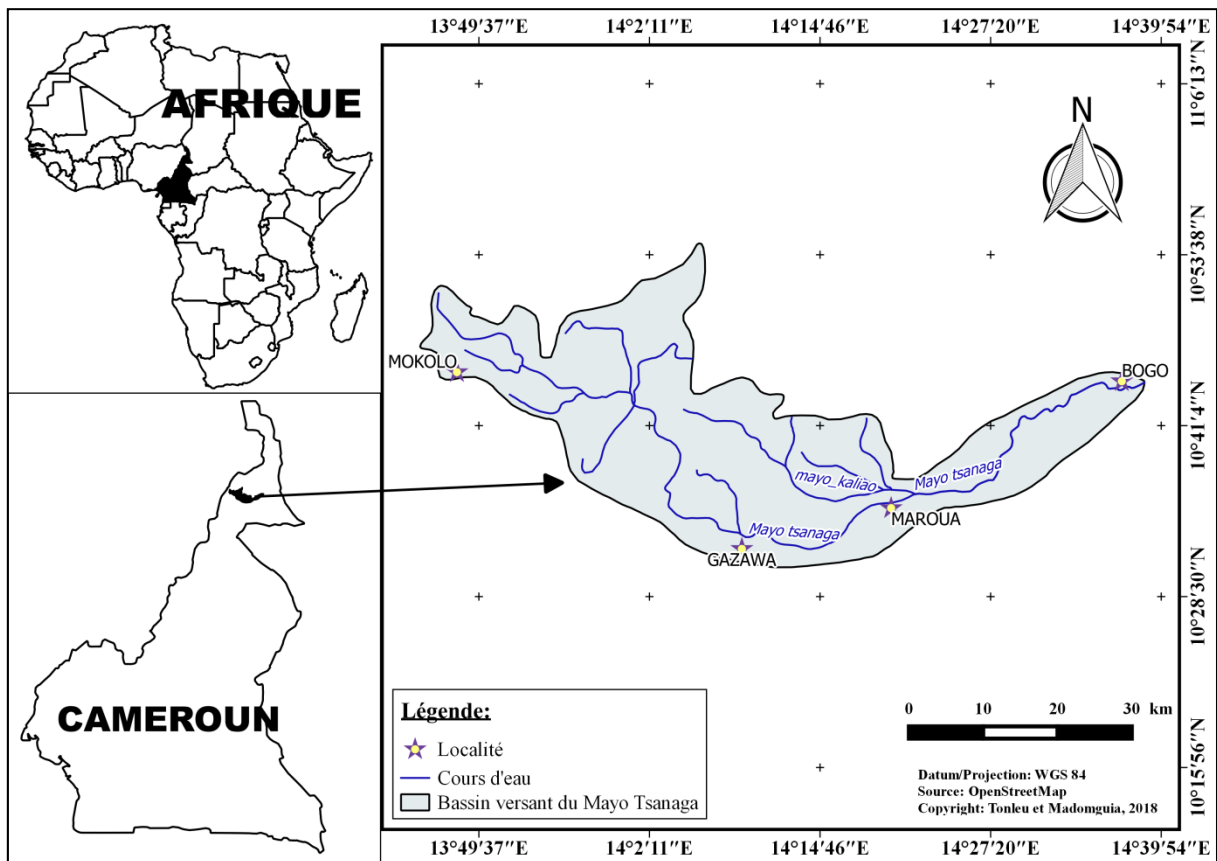


Figure 1 : Carte localisant la zone d'étude.

II.1.2. Climatologie

Le Cameroun est soumis à huit zones climatiques : le climat équatorial pur, le climat équatorial type côtier sud, le climat équatorial type côtier nord, le climat tropical et équatorial de transition, le climat tropical de montagne de l'Ouest, le climat tropical d'altitude de l'Adamaoua, le climat tropical du bassin de la Bénoué et le climat tropical sec du Nord

Cameroun (Olivry, 1986). Le climat sec du Nord soudano-sahélien est celui qui règne dans la Région de l'Extrême Nord. Il est constitué d'une courte saison des pluies (2 à 3 mois) et d'une très longue saison sèche (Suchel, 1987). La région n'est dotée que d'une seule station météorologique fonctionnelle, située à l'aéroport de Maroua-Salak à environ 20 km du site d'étude. Par conséquent, les données climatologiques présentées dans ce travail sont celles enregistrées dans cette unique station de 1994 à 2013. Elles nous ont été fournies par la Délégation du Ministère des Transports pour la Région de l'Extrême-Nord.

II.1.2.1. Précipitations

La pluviosité est un déterminant écologique très important qui est caractérisé par sa durée de chute et son intensité. La pluviosité a été faible (< 300 mm) dans la zone d'étude au cours des vingt dernières années (fig 2). Les premières pluies sont observées dès le mois de mai mais les mois les plus arrosés sont juillet, août et septembre. Ils correspondent à l'unique saison des pluies de la Région. Le maximum des précipitations est centré sur le mois d'août.

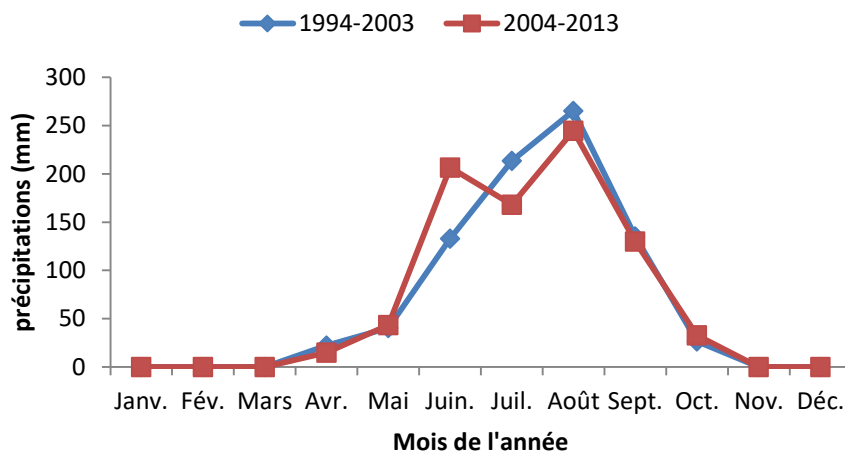


Figure 2 : Précipitations moyennes mensuelles en mm dans la localité de Maroua-Salak (1994-2013).

II.1.2.2. Température de l'air

La température de l'air est un facteur important dans l'établissement du bilan hydrique d'une région (Dajoz, 1979). Elle conditionne l'écologie et la biogéographie de tous les êtres vivants dans la biosphère. La Région de l'Extrême Nord fait partie des régions les plus chaudes d'Afrique, après les déserts de Namibie et de la ceinture saharienne (L'Hôte, 1988). La température moyenne annuelle se situe autour de 28°C et atteint parfois 42°C aux mois de mars et d'avril lorsqu'on se rapproche des rives du Lac Tchad. Les relevés thermiques entre 1994

et 2013 dans la zone d'étude montrent une moyenne comprise entre 25,3 et 33,7°C et une variation d'amplitude importante entre le mois le plus chaud et le moins chaud (entre 8,5°C et 15,6°C). Les mois les plus chauds sont mars, avril et mai tandis que les mois de décembre et de janvier sont les plus froids de l'année (fig. 3).

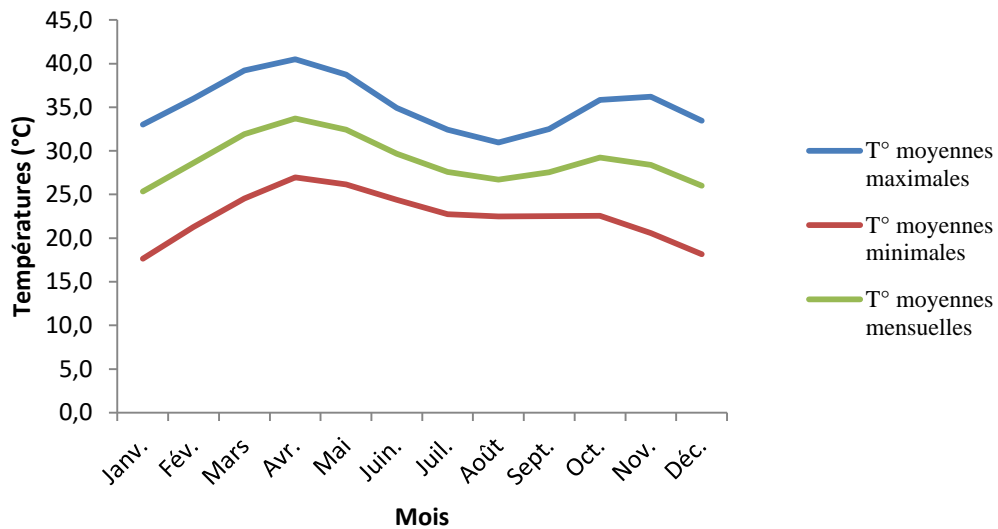


Figure 3 : Températures mensuelles de l'air (minimales, maximales et moyennes) en °C à Maroua-Salak dans la période allant de 1994-2013

II.1.3. Géomorphologie et types de sols

Le bassin du Mayo Tsanaga est marqué par un fort contraste entre la zone amont et la zone avale.

Le bassin amont s'étirant de Mokolo à Minglia est caractérisé par la présence des massifs montagneux, les monts Mandara, culminant souvent au-delà de 1 000 m et séparés par des plateaux de 800 à 1 000 m (Morin, 2000). Ces massifs sont coiffés à la frontière camerouno-nigérienne par la chaîne des monts Mandara dans laquelle naissent la plupart des cours d'eau temporaires localement dénommés « Mayos » dont le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao, objets de cette étude. Le bassin aval a une pente plus modérée et s'étend de Minglia à Bogo : c'est la plaine de Diamaré dont le relief est constitué d'ensembles de glacis et de plaines de piémont et alluviales d'où émergent parfois des pitons rocheux isolés.

Dans les monts Mandara, on trouve un fort pourcentage de roche-mère non altérée séparée par des arènes détritiques ainsi que des lithosols peu évolués, pauvres en argile et en matières organiques. Ces sols sont essentiellement sableux (70%) avec de 25-30% de graviers. Ils sont mal protégés contre l'érosion (Morin, 2000). Dans la plaine de Diamaré, les sols de piémont sont dérivés des matériaux meubles (alluvions ou pédiments) et sont recouverts d'une couche

argileuse, le "Karal", imperméable et présentant de larges fentes de dessiccation en saison sèche (Morin, 2000). Ce sont soit des vertisols évolués argilo-calcaires ou non et légèrement sableux, soit des sols gris sub-arides en début d'évolution tendant vers des sols halomorphes. Ces sols sont mal drainés et peu perméables. Dans l'ensemble il s'agit partout des sols sableux à la même texture grossière qui manquent de matière organique et souffrent des périodes de sécheresse lors de l'arrêt des pluies, car ils n'ont qu'une faible rétention en eau (Morin, 2000). C'est dans cette plaine que la présente étude est effectuée.

II.1.4. Relief et Hydrographie

Le réseau hydrographique du bassin du Mayo Tsanaga est constitué de nombreux cours d'eau temporaires appelés « Mayo » en *fulfuldé* (langue peulh) dont les principaux sont le Mayo Tsanaga et son affluent majeur le Mayo Kaliao.

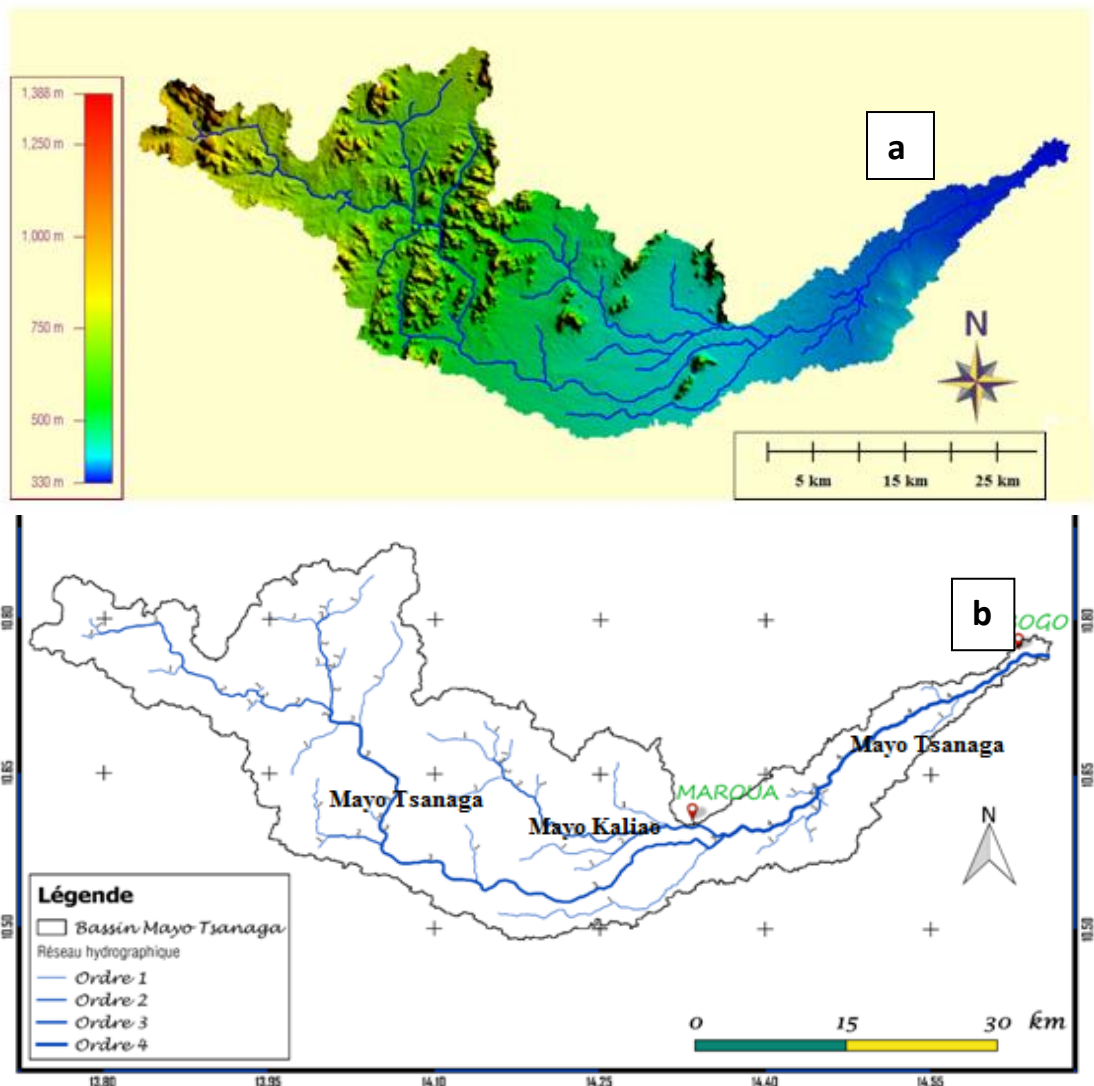


Figure 4 : Carte du réseau hydrographique du bassin du Mayo Tsanaga montrant les variations d'altitude (a) et la hiérarchisation du réseau hydrographique (b)

Les Mayos sont des cours d'eau torrentiels qui disparaissent par la suite dans les dunes de sable et les vases de la plaine de la cuvette tchadienne. La complexité de ce bassin varie selon sa morphologie et notamment en fonction du gradient altitudinal (Leroux, 2012).

L'amont est caractérisé par de fortes pentes ($> 0,5\%$) et une altitude élevée (> 800 m) (Olivry et Naah, 2000). Il présente un réseau hydrographique très développé et hiérarchisé, avec des cours d'eau de plusieurs ordres de Strahler à caractère torrentiel (fig. 4b). La zone de piémont, avec un réseau moins développé, est caractérisée par un relief relativement plat avec la présence ponctuelle de petits massifs montagneux (monts Makabay et monts Maroua). Sa pente est supérieure à $0,3\%$ et son altitude comprise entre 300 et 600 m (fig. 4a). La plaine alluviale de l'aval est marquée par un endoréisme total favorisé par la faiblesse de leur pente ($< 0,15\%$), ce qui la rend moins drainante. L'altitude de cette plaine est inférieure à 300 m.

II.1.5. Couvert végétal

Le couvert végétal est un déterminant écologique très important qui influe sur les écoulements superficiels et sur la quantité des pluies qui tombent dans une région. D'ailleurs, la résistance de l'eau au ruissèlement est d'autant plus grande que le couvert végétal est abondant et dense.

La végétation est en recul dans la région de l'Extrême-Nord qui semble plus vulnérable que le reste du pays (MIDIMA, 2009). L'hétérogénéité des zones écologiques, les conditions climatiques qui y règnent (faible pluviométrie, température élevée...) et l'action humaine, notamment les activités agricoles, pastorales et piscicoles ont imprimé un couvert végétal très diversifié du type soudano-sahélien à la région (Djoufack, 2011 ; GIZ, 2013). Sur les massifs montagneux, il n'existe plus de couverture végétale que l'on puisse encore caractériser du stade primaire, à part une végétation d'arbustes rabougris sur les plus hauts sommets (Liéno, 2007). Ces massifs sont constitués majoritairement des terres incultes (blocs rocheux, cailloux...) et sont marqués par une pauvreté du couvert végétal du fait de la coupe des herbes, de l'intensification de l'agriculture et des activités pastorales. Les fortes pentes des massifs intensément exploités ont ainsi vu le développement des torrents particulièrement dynamiques en saisons des pluies qui érodent des flancs de ces derniers. Les monts Mandara se distinguent des autres zones de la Région de l'Extrême-Nord par une altitude plus haute (> 800 m), un climat légèrement plus doux et une pluviométrie nettement plus élevée, avec des lames d'eau de 900 à 1000 mm/an (MIDIMA, 2009).

Dans les plaines de Diamaré, le climat soudano-sahélien qui y règne et la nature du sol leur confèrent des potentialités agricoles élevées, propices à la culture du coton, des céréales (maïs, sorgho, riz, mil, etc.), des légumineuses (soja, arachide, niébé) et de plus en plus des cultures maraichères (tomate, carotte, laitue, oignon, morelle noire (*Solanum nigrum*), concombre, gombo (*Albelmonchus esculentus*), oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa*), piment (*Solanum annuum*), poivron (*Capsicum annuum*), divers légumes verts consommés localement). Ces paysages culturels sont parsemés d'arbres tels que *Azadirachta indica*, *Acacia*, *Balatines*, le grand caïllédrat et le tamarinier, souvent en peuplements denses, adaptés aux caractéristiques des sols (Liéno, 2007).

II.1.6. Saison sèche et écoulement des eaux

Les cours d'eau du bassin du Mayo Tsanaga ont un régime sahélien ou tropical pur présentant des crues presque individualisées qui réagissent à toutes averses isolées reçues sur le bassin versant. Les crues sont souvent violentes avec des coefficients de ruissellement élevés. Le débit peut passer en quelques heures de quelques mètres cubes par seconde à plusieurs dizaines de mètres cubes ; Lefèvre (1971) décrit un écoulement d'inféro-flux en saison sèche. La durée de la période sans écoulement est d'autant plus longue que le démarrage de la saison des pluies suivante sera tardif. La date de début des pluies et donc des écoulements est extrêmement variable. Toutefois, elle se situe entre juin et juillet. Liéno (2007) a relevé entre les années 2002 et 2003 un décalage d'environ 2 mois (26 juillet en 2002 et 01 juin en 2003). En 2013, première année de la présente étude, les premières pluies sont tombées dès le début du mois de juillet mais c'est la forte pluie du 21 juillet qui a favorisé le démarrage de la permanence de l'eau dans le lit des cours d'eau. En 2014, deuxième année de l'étude, les premières chutes de pluies ont été observées au mois de mai mais ce n'est qu'au mois d'août que la quantité d'eau ruisselante disponible a permis le démarrage de l'écoulement permanent de l'eau dans les cours d'eau.

II.2. SITE D'ETUDE, PERIODE D'ETUDE ET DESCRIPTION DES STATIONS D'ETUDE

II.2.1. Site d'étude

Le site d'étude retenu dans le cadre de ce travail est la plaine de Diamaré, principal bassin collecteur des eaux des Mayos qui proviennent pour l'essentiel des monts Mandara, Région de l'Extrême Nord du Cameroun. Dans cette plaine, deux rivières ont été sélectionnées, le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao son principal affluent. Les caractéristiques physiographiques de ces

cours d'eau temporaires sont similaires à celles présentées sur la zone d'étude au chapitre 1, paragraphe I.1 et ne seront pas reprises dans le présent chapitre. Seules les stations de prélèvement seront décrites.

II.2.2. Période d'étude

Cette étude a été menée en trois phases. La première phase qui est la phase de prospection, d'avril à octobre 2012, a consisté en la prospection du bassin du Mayo Tsanaga dans la plaine de Diamaré à hauteur de la ville de Maroua. Cette prospection a permis de sélectionner deux cours d'eau (Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao) (fig. 5) et neuf stations d'échantillonnage dont six stations sur le Mayo Tsanaga et trois sur le Mayo Kaliao. Elle a également permis de définir la fréquence de prélèvement des échantillons d'eau à analyser pour la physicochimie ainsi que la fréquence de prélèvement des macroinvertébrés benthiques. La deuxième phase de l'étude a eu lieu en 2013 et en 2014, uniquement pendant la saison des pluies et de permanence des eaux dans les cours d'eau. En 2013, cette phase s'est étendue de fin juillet à mi-octobre et, en 2014, du début août à la première semaine d'octobre. Elle a consisté en la mesure des variables physicochimiques *in situ* (température, conductivité électrique, pH), aux prélèvements d'échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques de laboratoire (nitrates, azote ammoniacal, orthophosphates) et à l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques. La troisième phase consacrée au tri, à l'identification et au comptage des macroinvertébrés benthiques a eu lieu chaque année après tarissement des eaux et ce jusqu'en septembre 2015.

II.2.3. Description des stations de prélèvement

Plusieurs critères ont servi de base de choix pour les stations d'étude. Il s'agit entre autres de l'accessibilité, de la collaboration des riverains, de la diversité des microhabitats,

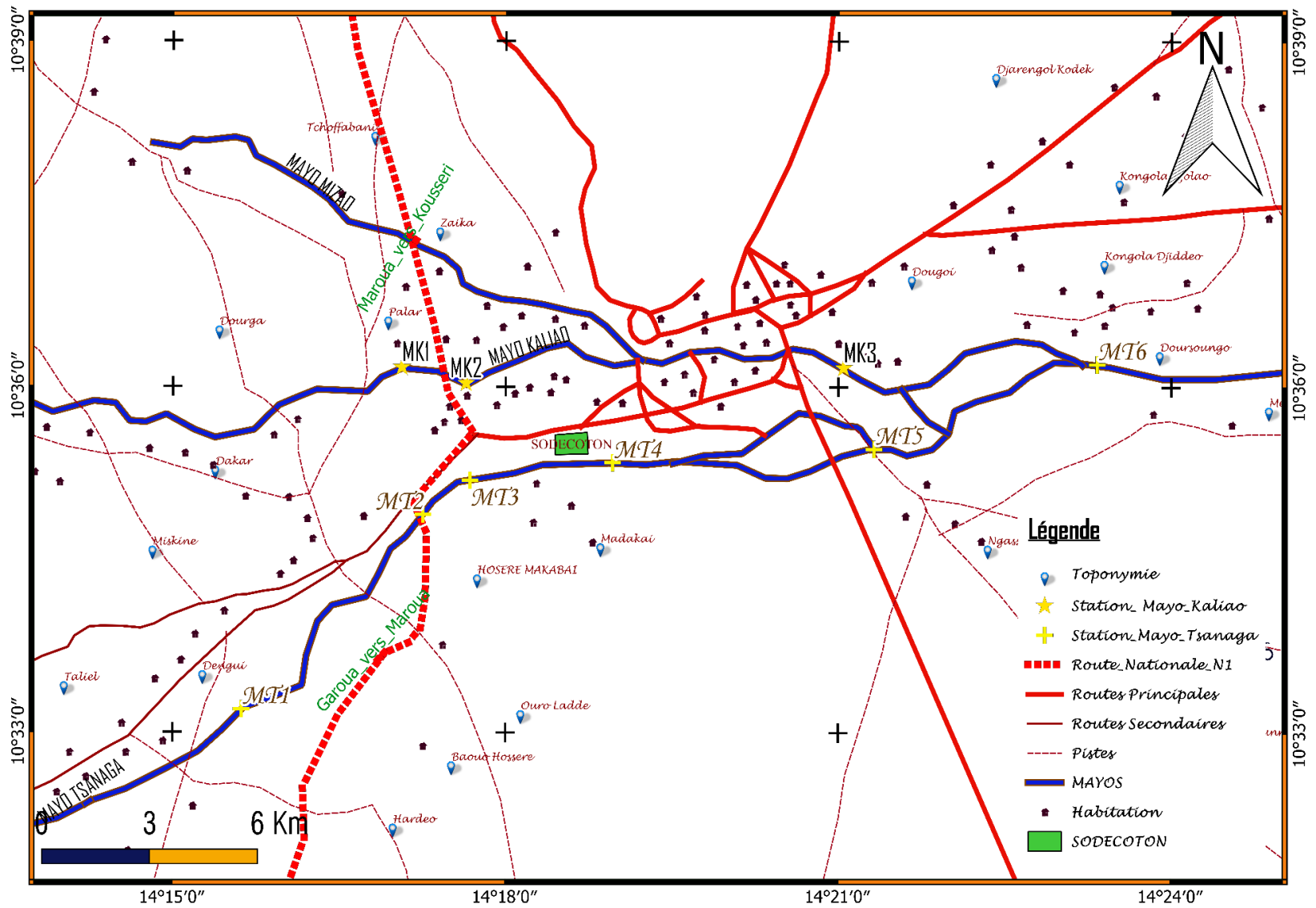


Figure 5 : Localisation des stations d'échantillonnage dans le site d'étude sur le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao

des pollutions, de la régularité de la répartition des points de prélèvement dans le site d'étude. Les coordonnées géographiques des stations choisies ainsi que les microhabitats disponibles sont présentés dans le tableau IV pour le Mayo Tsanaga et le tableau V pour le Mayo Kaliao.

Tableau IV : Coordonnées géographiques et microhabitats des stations d'échantillonnage sur le Mayo Tsanaga

N° d'ordre	Localité	Codes	Coordonnées géographiques			Microhabitats
1	Miskine	MT1	10,54882°N	14,26370°E	425 m	végétation, sable, litière
2	Ziling	MT2	10,57329°N	14,28163°E	422m	végétation, sable, litière, pierres
3	Djarengol	MT3	10,58114° N	14,29695° E	414 m	végétation, sable, litière
4	Domayo Toupouri	MT4	10,58282° N	14,31715° E	410 m	végétation, sable, litière, vase
5	Ferngo	MT5	10,59545° N	14,34963° E	391 m	végétation, sable, litière
6	Doursoungo	MT6	10,59624° N	14,36221° E	386 m	végétation, sable, litière

Tableau V : Coordonnées géographiques et microhabitats des stations d'échantillonnage sur le Mayo Kaliao

N° d'ordre	Localité	Codes	Coordonnées			Microhabitats
1	Djongo	MK1	10,59735° N	14,27885° E	407 m	végétation, sable, litière
2	Palar	MK2	10,59344° N	14,2899° E	404 m	végétation, sable, litière, pierres
3	Ouro Dolé	MK3	10,59705° N	14,35067° E	397 m	végétation, sable, litière

II.2.3.1. Description des stations du Mayo Tsanaga

II.2.3.1.1. Station MT1

La station MT1 est localisée à Miskine, une banlieue de la ville de Maroua. La largeur du lit est supérieure à 100 m. La végétation de bordure (fig. 6a et 6b) est composée de plantes herbacées (*Ipomea aquatica* et *Echinochloa stagnina* notamment). Une intense activité agricole de saison et de contre-saison est pratiquée dans cette localité, avec utilisation systématique des fertilisants et des pesticides. En fait, au cours de l'année sont alternées les cultures de sorgho, de riz pluvial, de patate douce, d'oignon, de carotte, de maïs, de niébé, de soja, de gombo et divers légumes consommés localement. Quelques pâturages existent également dans la zone et le transit du bétail a lieu au niveau de la station MT1. Les microhabitats disponibles sont la végétation, la litière et le sable (Tab. IV).

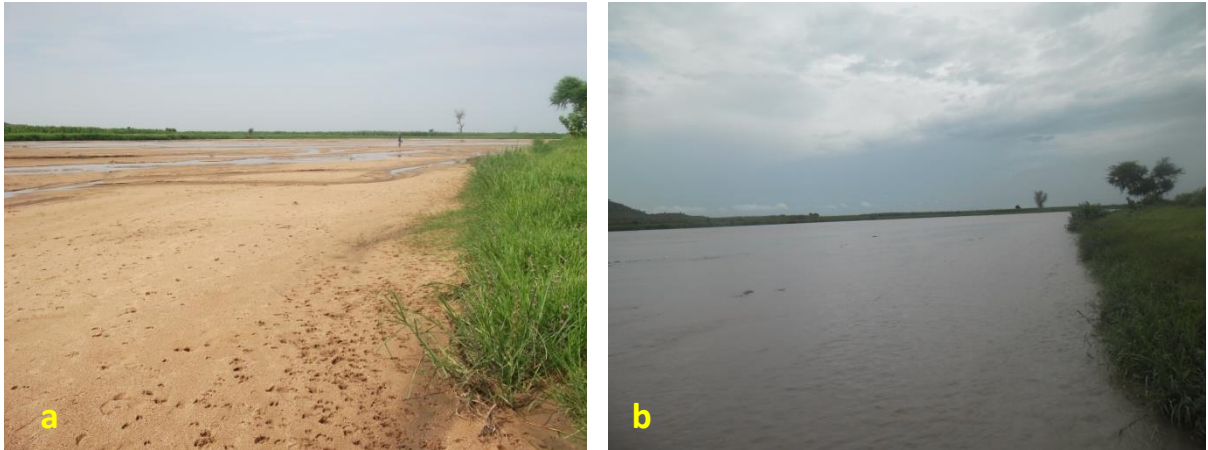


Figure 6 : Vue partielle de la station MT1 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

II.2.3.1.2. Station MT2

La station MT2 est située à Ziling, de part et d'autre du pont Makabay reliant la ville de Maroua à la partie sud du pays. La largeur du lit est supérieure à 100 m. L'extraction de sable, une faible activité agricole (avec culture de patate douce, soja, oignon), la lessive avec usage de détergent, les défécations animale et humaine constituent les activités anthropiques majeures autour de cette station. Ce site est très prisé par les bergers pour la traversée de leur bétail (bœuf, mouton, chèvre), évitant ainsi d'éventuels obstacles sur le pont (fig. 7). Les pierres, le sable, l'herbier et la litière constituent les microhabitats de ce site (Tab. IV).



Figure 7 : Vue partielle de la station MT2 montrant quelques activités humaines en présence d'eau (a : passage du bétail, b : baignade).

II.2.3.1.3. Station MT3



Figure 8 : Vue partielle de la station MT3 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

Cette station est située à Djarengol, à 100 m de l'abattoir bovin où près d'une quinzaine de bœufs sont abattus tous les jours. Ainsi sont déversés dans le lit et sur les berges de la rivière les contenus stomacaux (fig. 7a), le sang et les sabots de bœufs (fig. 7b). Par ailleurs, une faible activité agricole (culture de patate douce, soja, coton, niébé) est pratiquée le long de la rive. Les microhabitats de cette station sont faits de sable, de macrophytes et de litière (Tab. IV).

II.2.3.1.4. Station MT4

C'est une station localisée à 20 m en aval de la confluence des effluents de la Société de Développement du Coton (SODECOTON) avec le Mayo Tsanaga au quartier Domayo Toupouri (fig. 9). Cette société est spécialisée dans l'égrenage et l'extraction d'huile de coton.



Figure 9 : Vue partielle de la station MT4 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

Elle déverse 3 fois par jour ses rejets dans le lit du cours d'eau aussi bien pendant l'écoulement des eaux (fig. 9b) qu'après leur tarissement (fig. 9a). Les habitats aquatiques sont faits ici de macrophytes, de vase et de sable (Tab. IV).

II.2.3.1.5. Station MT5

La station MT5 est située au quartier Ferngo, à 500 m en amont de la confluence du Mayo Tsanaga avec le Mayo Kaliao. Contrairement aux autres stations amont où le lit est couvert par une épaisse couche de sable, le substratum de fond de la station MT5 est constitué de l'argile recouverte pas une mince couche de sable. La végétation de bordure est composée principalement par l'espèce *Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa* D. Austin appartenant à la famille des Convolvulaceae (Dicotylédones) (fig. 10a). En plus de la défécation à l'air libre (fig. 10b), les autres influences humaines ici sont la pêche et le transit du bétail. Les microhabitats sont la végétation, la litière et la sable (Tab. IV).

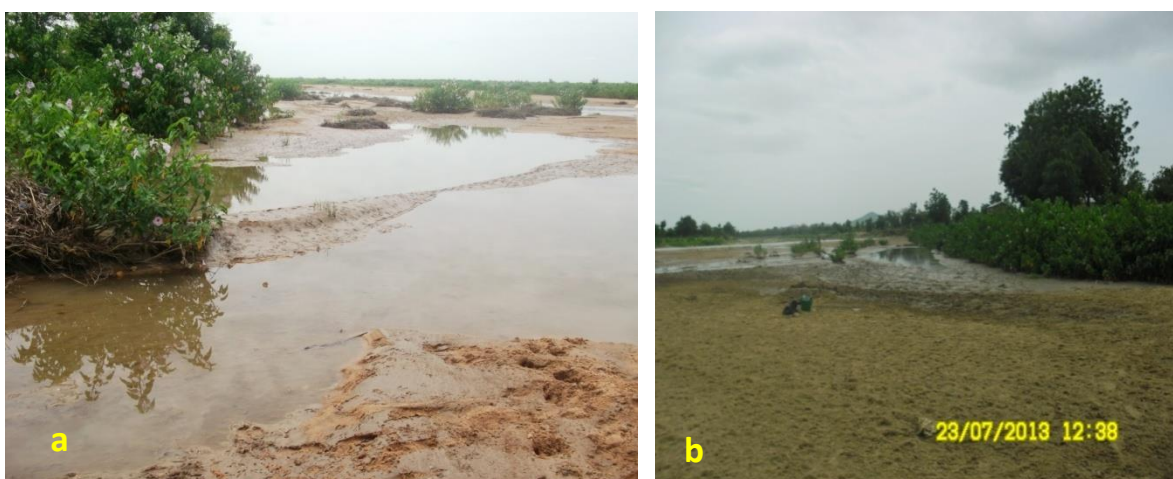


Figure 10 : Vue partielle de la station MT5 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

Entre la station MT4 et la station MT5, le Mayo Tsanaga traverse la réserve forestière de Ferngo composée d'Eucalyptus, de *Neem* et de *Calceidra* essentiellement. En outre, cette station reçoit les eaux du Mayo Dadamama qui est en réalité un effluent du cours d'eau principal. Il draine le quartier Hardé assez peuplé et ses champs agricoles où sont cultivées les plantes maraichères. Les microhabitats disponibles sont la végétation, la litière et le sable (Tab. IV).

II.2.3.1.6. Station MT6

C'est la dernière station sur le Mayo Tsanaga. Elle est localisée à Doursoungo près du cimetière. Elle est bordée par une ceinture phanérogamique dense dominée par le Convolvulacée *Ipomea carnea* ssp *fistulosa* D. Austin (fig. 11). L'extraction intensive de sable,

la lessive et la pêche représentent les perturbations anthropiques ayant lieu autour de cette station.

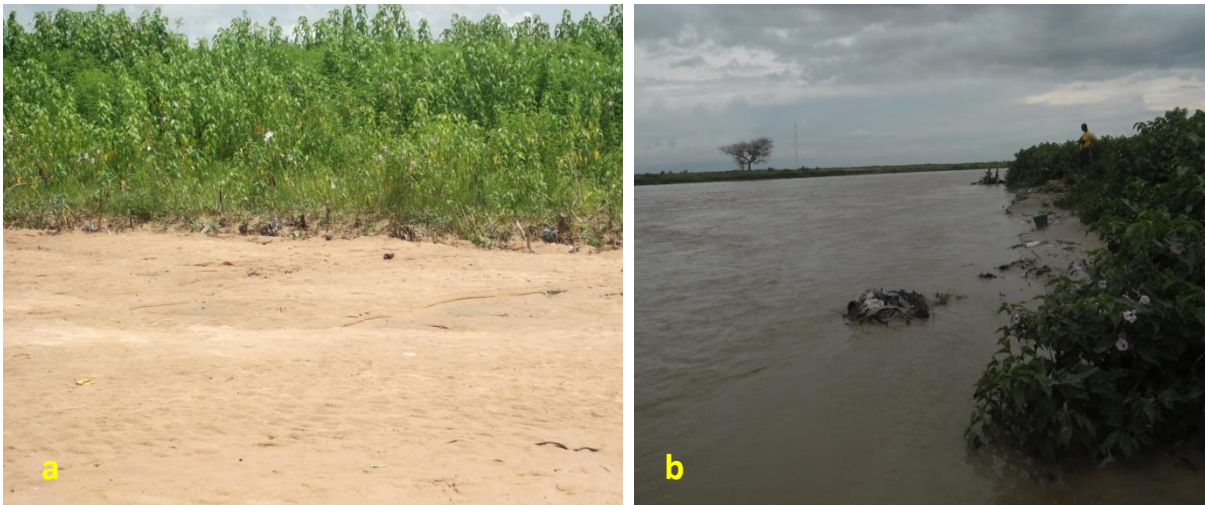


Figure 11 : Vue partielle de la station MT6 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

II.2.3.2. Stations du Mayo Kaliao

II.2.3.2.1. Station MK1

Cette station est située à Djongo, un quartier périphérique de la ville de Maroua. L'extraction de sable, la lessive, la vaisselle sont les activités humaines menées autour de la station MK1. Les habitats aquatiques présents sont le sable, la végétation et la litière (fig. 12).



Figure 12 : Vue partielle de la station MK1 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

II.2.3.2.2. Station MK2

La station MK2 est localisée en aval du pont Palar. Le Mayo Kaliao est particulièrement perturbé de part et d'autre du pont Palar. C'est un secteur très prisé pour l'extraction de sable, la lessive, le lavage des véhicules et de bétail grâce au radier aménagé sur le lit. En outre, la canalisation du réseau de distribution de l'eau potable y traverse le lit et une autre canalisation apporte les eaux grises d'un domicile privé situé en bordure de la rivière. Les substrats sont constitués par les pierres, le sable et les végétaux (fig. 13).



Figure 13 : Vue partielle de la station MK2 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

II.2.3.2.3. Station MK3

La station MK3 est située à Ouro Dolé, à 200 m avant la confluence avec le Mayo Tsanaga. Les influences humaines sont la lessive, le dépôt d'ordures et la défécation humaine. L'argile, le sable, la végétation constituent les substrats de ce site (fig. 14).



Figure 14 : Vue partielle de la station MK3 en absence d'eau (a) et en présence d'eau (b).

D'une manière générale, les tronçons des cours d'eau étudiés se caractérisent par la présence d'une faible variété de microhabitats. On distingue 02 grands types de substrat dans les Mayo Kaliao et Mayo Tsanaga : le substrat minéral (pierres, sable et argile) et le substrat organique (débris organiques, végétation de bordure, végétation aquatique). En dehors des berges où subsistent quelques groupes végétaux, il n'existe aucun obstacle à l'écoulement des eaux. Le lit de ces rivières n'est recouvert que de sable reposant sur une masse argileuse qui affleure par endroit (comme au niveau des stations MT5 sur le Mayo Tsanaga et MK3 sur le Mayo Kaliao). Le sable représente plus de 95 % du substratum des rivières étudiées alors que pierres, argile, végétaux et débris végétaux représentent environ 5 %. Les stations MT1, MT2, MT3, MT4 (Mayo Tsanaga) et MK2 (Mayo Kaliao) sont composées essentiellement d'une strate herbacée dont les espèces prépondérantes sont *Ipomea aquatica* et *Echinochloa stagnina* alors que les stations MT5, MT6 (Mayo Tsanaga) et MK1, MK3 (Mayo Kaliao) sont constituées quant à elles d'une strate arborescente dont *Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa* est l'espèce principale.

Contrairement au Mayo Tsanaga qui draine essentiellement les champs agricoles dans la plaine du Diamaré, le Mayo Kaliao passe en plein cœur de la ville de Maroua et draine des quartiers plus ou moins densément peuplés. Toutefois, de sporadiques champs agricoles peuvent être perçus au bord de cette rivière.

II.2.4. Perturbations anthropiques dans la plaine de Diamaré

Le bassin du Mayo Tsanaga à hauteur de Maroua se trouve face à un danger avéré suite à diverses agressions de l'homme. L'extension des zones urbaines, les activités agropastorales et les unités industrielles représentent les principales sources des polluants des Mayo Kaliao et Mayo Tsanaga.

II.2.4.1. Pollution industrielle

Le site d'étude est doté d'une unité industrielle : la Société de Développement de Coton (SODECOTON) installée à Maroua, sur la rive gauche du Mayo Tsanaga, au quartier Domayo Toupouri. Cette société ne dispose d'aucun système d'épuration de ses effluents. Ces eaux résiduaires sont acheminées par un canal vers le cours d'eau. Elles contiennent un grand nombre d'éléments dissous et en suspension, organiques et inorganiques (sels minéraux, huiles, matières organiques...). Sa présence dans ce site s'accompagne par une atteinte grave à

l'environnement et à la qualité des eaux de cette rivière aussi bien en absence d'eau (fig. 15a et b) qu'en présence d'eau (fig. 15 c et d).



Figure 15 : Photos illustrant le rejet des effluents de la SODECOTON dans le Mayo Tsanaga en absence d'eau (a et b) et en présence d'eau (c et d).

II.2.4.2. Pollution urbaine

Les cours d'eau étudiés encaissent les rejets des activités domestiques de l'agglomération de Maroua et ses banlieues. Eaux grises des ménages, lixiviats des décharges non contrôlées et des garages automobiles et le contenu des panses des animaux sacrifiés à l'abattoir de Djarengol sont déversés directement ou non dans le lit de ces milieux lotiques temporaires (fig. 16). En outre, la défécation à l'air libre (animale et humaine) est encore très perceptible dans l'environnement étudié. A certains endroits, dans le lit des cours d'eau, sont brûlés les pneus de véhicules dans le but d'extraire les filaments de fer qu'ils contiennent.



Figure 16: Photos illustrant la pollution urbaine dans les rivières d'étude du Mayo Tsanaga (a : contenus stomacaux des bœufs déposés dans le chenal ; b : décharge non contrôlée).

II.2.4.3. Pollution agricole

L'agriculture de subsistance et l'élevage anarchique de bovin, caprin et ovin demeurent les principales activités agropastorales de la zone d'étude. Une agriculture de type intensif à extensif s'est développée le long des cours d'eau (Mayo Tsanaga particulièrement) qui se trouvent dans les zones de piémont (fig. 17a). On y cultive surtout les plantes maraichères comme les céréales - sorgho, riz pluvial, maïs – les tubercules (patates douces surtout), l'oignon, les légumes (tomate, carotte et d'autres légumes verts consommés localement), les graminées (arachide, soja, niébé). Une faible culture de rente y est pratiquée, notamment celle de coton et de mangue.

L'emploi systématique et irrationnel de fertilisants chimiques, d'insecticides, d'herbicides et autres pesticides apporte aux cours d'eau, via le lessivage des sols, les eaux chargées en éléments eutrophisants et métaux lourds. Ces polluants peuvent induire un déséquilibre dans la faune et la flore aquatique ainsi que des effets désastreux à l'homme directement ou indirectement par le biais des aliments ou lors d'un contact avec l'eau souillée. Le développement des cultures de contre-saison irriguée a pour corollaire la multiplication des points de pompages de l'inféro-flux pour satisfaire les besoins en eau grandissant pendant la période sèche.



Figure 17: Photo montrant un champ de sorgho et de riz au bord du Mayo Tsanaga (a) et l'extraction de sable dans le Mayo Kaliao (b).

II.2.4.4. Pollution mécanique

L'extraction de sable dans le lit des cours d'eau (fig. 17b) entraîne la déstabilisation du fond du lit de ceux-ci, une modification permanente de leur morphologie et une remise en suspension des éléments fins. Ce phénomène réduit l'activité photosynthétique et contribue à la dégradation des hydrosystèmes.

II.3. METHODOLOGIE

II.3.1. Méthode d'analyse physicochimique

L'analyse physicochimique des eaux du Mayo Kaliao et du Mayo Tsanaga s'est déroulée en deux phases dépendantes : le prélèvement des échantillons d'eau à analyser et l'analyse proprement dite.

II.3.1.1. Prélèvement des échantillons d'eau et fréquence

Les échantillons d'eau destinés à l'analyse physicochimique au cours de la phase 1 effectuée en 2012 ont été prélevés selon une fréquence hebdomadaire du début à la fin de l'écoulement permanent allant de fin juillet à mi-octobre 2012.

Des résultats obtenus, il a été dégagé que le critère principal de variation des paramètres physicochimiques était lié à l'hydrologie du milieu, notamment la hauteur de la lame d'eau disponible au moment de l'échantillonnage. Ce critère, corollaire à la durée de la permanence de l'eau, a permis de distinguer trois périodes dénommées « début de permanence de l'eau »,

« mi-permanence de l'eau » et « fin de permanence de l'eau ». C'est pourquoi en 2013 et en 2014 les prélèvements pour la physicochimie ont été effectués trois fois au cours de la permanence de l'eau en tenant compte de la hauteur de la lame d'eau disponible au moment de l'échantillonnage. Ainsi, les prélèvements d'eau ont été effectués à ces périodes dans chaque station en 2013 et en 2014, de fin juillet à mi-octobre (du 23 juillet au 12 octobre en 2013 et du 01 août au 05 octobre en 2014). Ils ont été réalisés en pleine eau sans faire de bulles et contre le courant, grâce aux flacons en polyéthylène monobouchage de 0.5 L et ce jusqu'à ras-bord. Avant chaque prélèvement, chaque flacon était rincé trois fois à l'eau à analyser. Les échantillons ainsi prélevés (entre 7h et 13h) étaient conservés et transportés dans une glacière vers le laboratoire et les analyses ont été effectuées 5 heures au plus après le prélèvement.

II.3.1.2. Technique d'analyse physicochimique

Dans le cadre de ce travail, les paramètres environnementaux sélectionnés sont la température ($T^{\circ}\text{C}$), l'azote ammoniacal (NH_4^+), les nitrates (NO_3^-), les orthophosphates (PO_4^{3-}), la conductivité électrique (EC), le pH. Parmi ces indicateurs, certains ont été mesurés *in situ* et d'autres au laboratoire de Biosciences de l'Institut et Supérieur du Sahel (ISS) à Maroua. Les principaux facteurs ayant influencés le choix sont la disponibilité et la stabilité du matériel d'analyse (équipement et réactifs).

II.3.1.2.1. Mesures *in situ*

La température de l'eau, la conductivité électrique et le pH ont été mesurés sur le terrain pendant l'étude.

La valeur du pH a été obtenue en plongeant les électrodes d'un pH-mètre de marque WAGTECH dans un seau contenant l'échantillon d'eau à analyser. Par la suite, la valeur du pH a été lue sur l'écran et exprimée en UC.

De même, les teneurs des deux autres métriques évalués *in situ* ont été obtenues en plongeant les électrodes du multiparamètre pH/Conductivity/TDS-meter de marque EXTECH EC500 dans un seau contenant un échantillon d'eau à analyser. Après une mesure, l'appareil est calibré au paramètre suivant jusqu'à évaluation de tous ces paramètres et les valeurs ont été exprimées en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) pour la température et en microSiemens par centimètre ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) pour la conductivité électrique. Il est à noter que la valeur de la température retenue est celle affichée par le multiparamètre au moment de la mesure de la conductivité électrique.

II.3.1.2.2. Mesures au laboratoire

Les indicateurs évalués au laboratoire sont les nitrates, les orthophosphates et l'azote ammoniacal. La méthode utilisée est la colorimétrie et le protocole employé est celui proposé par APHA (1998) et Rodier et *al.* (2009). L'appareil de mesure est le spectrophotomètre SPECTRO UV-Vis RS UV 2500.

Les teneurs en orthophosphates ont été mesurées en utilisant le phosver 3 comme réactif. La lecture s'est faite à la longueur d'onde 890 nm et les résultats ont été exprimés en mg/L de PO_4^{3-} .

Les teneurs en azote ammoniacal ont été mesurées suivant la méthode de Nessler qui utilise le sel de Rochelle et le réactif de Nessler. La lecture de la teneur en azote ammoniacal s'est faite à la longueur d'onde 425 nm et les résultats sont exprimés en mg/L de NH_4^+ .

Les valeurs des nitrates ont été obtenues en utilisant le Nitraver 5. La lecture de leurs teneurs a été faite à la longueur d'onde 400 nm et les résultats ont été exprimés en mg/L de NO_3^- .

II.3.2. Technique d'échantillonnage de la macrofaune benthique

II.3.2.1 Choix de l'approche et fréquence d'échantillonnage

Les cours d'eau dans lesquels est menée la présente étude sont peu profonds pour favoriser le déplacement à pied, sauf à la mi-permanence correspondant à la période des hautes eaux avec l'épaisseur de la lame d'eau qui atteint 1,5 m. Stark et *al.* (2001) distinguent de manière générale, deux types de cours d'eau dans lesquels on peut se déplacer à pied : les cours d'eau à substrat grossier et à écoulement rapide et les cours d'eau à substrat fin et à écoulement lent. Moisan et Pelletier (2008) mentionnent que la stratégie d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques diffère selon ces types de substrats et d'écoulements. Ainsi, ces auteurs recommandent l'approche monohabitat dans les cours d'eau à substrat grossier et à écoulement rapide où seuils et plats courants doivent être échantillonnés et l'approche multihabitat pour les cours d'eau à substrat fin et à écoulement lent dans lesquels trois habitats considérés comme les plus biogènes sont échantillonnés : les berges, les débris ligneux (troncs, branches) et les parties submergées des macrophytes.

Le Mayo Kaliao et le Mayo Tsanaga combinent les caractères spécifiques à chaque approche : ce sont des cours d'eau peu profonds (profondeur généralement inférieure à 0.5 m), à substrat fin/meuble (sable, débris organiques) et à écoulement très variable (suivant la

pluviométrie et le débit). En outre, la largeur de leur lit dans le tronçon étudié est supérieure à 80 m, par conséquent, une étude sur le plan transversal est impossible pendant les crues en l'absence de bouée de sauvetage. Par ailleurs, le degré de marnage (la largeur mouillée du cours d'eau ou largeur moyenne en eau) est très variable entre les pluies et d'un jour à l'autre. En effet, en dehors des mois d'août et de septembre où le lit de ces cours d'eau est entièrement couvert d'eau, il ne subsiste généralement que des filets d'eau dans le lit le reste de temps. Aussi, les alluvions déposées dans le lit modifient en permanence la topographie du fond des cours d'eau et donc la section mouillée de la rivière entre les pluies. Le phénomène d'altération des berges qui est très manifeste (fig. 18) ici contribue également à la modification de la topographie du cours d'eau.



Figure 18 : Photos illustrant le phénomène d'altération des berges dans le Mayo Kaliao (a) et le Mayo Tsanaga (b).

Considérant que tous les substratums des Mayo Kaliao et Mayo Tsanaga sont rencontrés au niveau des berges, qu'on ne disposait d'aucun moyen pour naviguer pendant la période des crues et considérant les caractéristiques propres aux Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao, la capture de la macrofaune benthique a été effectuée au niveau des berges, sous la végétation et dans le sable du chenal lorsque la hauteur de l'eau le permettait. Toutefois, en période de basses eaux où ne subsistaient que les filets d'eau, l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques était fait dans les microhabitats encore couverts d'eau. Ainsi, la disponibilité en eau sur les substrats des cours d'eau constitue le principal critère de choix du lieu de d'échantillonnage.

La fréquence d'échantillonnage adoptée dans cette étude est hebdomadaire. C'est dans l'optique d'augmenter les chances de récolter tous les taxa qui se développent dans ces milieux

lotiques temporaires qui peuvent s'assécher à tout moment. L'approche utilisée est de type multihabitat où sable, berges et macrophytes sont inspectés. L'échantillonnage a été effectué en 2013 et en 2014.

II.3.2.2. Echantillonnage et conservation

Les échantillonnages de la macrofaune benthique ont été effectués pour tous les habitats à l'aide d'un haveneau ou filet troubleau à manche et à ouverture carrée de 30 cm x 30 cm portant un filet de 300 µm d'ouverture de maille et de 30 cm de profondeur. Les macroinvertébrés sont délogés par dragage au filet de l'habitat ciblé et ce sur une distance de 50 m dans chaque station. Certains organismes de taille considérable comme les larves d'odonates Anisoptères et certains Héteroptères géants ont été capturés grâce à une pince. L'échantillon final est un composite de toutes les surfaces échantillonnées.

Les échantillons obtenus ont été transférés dans un seau en plastique de 15 L contenant de l'eau de l'échantillon pour un tri primaire afin de les débarrasser des grosses particules (plantes, feuilles, bois morts). Le restant était filtré au travers d'un tamis de porosité 64 µm (filet à plancton) en prenant soins de laisser le sable au fond du seau. Lorsque cela était nécessaire, le sable était remué à plusieurs reprises pour laisser surnager les organismes benthiques. Par la suite, le contenu du filtre a été transféré dans les flacons en verre de 50 mL et les organismes ont été fixés au formol 10 % sur le lieu même du prélèvement.

II.3.2.3. Tri secondaire et identification des invertébrés aquatiques

Le tri secondaire consistait à extraire les invertébrés du substrat résiduel contenu dans chaque échantillon. Il a été réalisé au laboratoire après rinçage des échantillons à l'eau de robinet pour les débarrasser du formol. Ce tri a été effectué, *primo* à la vue pour les plus gros spécimens, *secundo* sous une loupe trinoculaire de marque MOTIC pour les organismes de petite taille. Les organismes ont été manipulés à l'aide d'une paire de pince fine dans des boîtes de Pétri de 90 cm de diamètre. La faune ainsi concentrée a été conservée dans de l'éthanol 70° dans l'attente de l'identification et du dénombrement.

L'identification et le comptage ont été réalisés également sous la loupe trinoculaire de marque MOTIC. L'unité taxonomique retenue dans ce travail est la famille à l'exception des Oligochètes, des Ostracodes, des Collembolés, des Hydracariens en raison des difficultés de détermination qui se présentaient. Lorsque cela était possible, la détermination s'est poursuivie au niveau générique et même à l'espèce pour quelques organismes. Pour se faire, les clés

d'identification suivantes ont été utilisées : Tachet et *al.* (1980, 2006), Durand et Lévêque (1981), De Moor et *al.* (2002, 2003a, 2003b, 2007), Szpila (2008), Moisan (2010).

II.3.3. Mesure des paramètres hydrologiques

Deux facteurs hydrologiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao ont été également mesurés tout au long de l'étude. Il s'agit de la vitesse de l'eau (*Veau*) et de la hauteur de la lame d'eau disponible au moment de l'échantillonnage (*Heau*). Ces deux paramètres ont été mesurés également de manière hebdomadaire au niveau de chaque station.

Heau a été évaluée directement en plongeant un bâton gradué dans l'eau et la valeur a été obtenue par lecture directe sur le bâton gradué. *Heau* est exprimée en cm.

La vitesse d'écoulement *Veau* a été déterminée manuellement à partir du temps *t* (en secondes) que met un objet léger (le polystyrène) pour parcourir une distance donnée *d* (en mètres). Ce temps a été mesuré trois fois par un chronomètre et la vitesse, exprimée en m/s, a été obtenue suivant la relation :

$$Veau = d/t$$

II.3.4. Méthodes d'analyses des données

La structure de la communauté des macroinvertébrés du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao a été analysée suivant 2 approches : l'approche taxonomique et l'approche fonctionnelle.

II.3.4.1. Approche taxonomique

Les métriques employées dans cette approche ont été la richesse taxonomique et l'abondance taxonomique dans l'optique d'évaluer la structure générale des peuplements de macroinvertébrés benthiques. La richesse taxonomique *S* ou diversité brute correspond au nombre total de taxons présents dans chaque prélèvement tandis que l'abondance taxonomique est le nombre d'individus *n_i* de chaque taxon présent dans l'échantillon.

Ces variables ont permis de calculer l'indice de Shannon-Weaver et l'indice d'équitabilité *J* de Piélou suivant les expressions :

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_{10} p_i \text{ ou } H' = -3.322 \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2 p_i$$

$$J = H' / \log_2 S$$

avec $P_i = \frac{ni}{N}$ l'abondance relative de chaque taxon i , c'est-à-dire le nombre d'individus de chaque taxon sur le nombre total N d'individus de tous les taxons. H' est exprimé en « bits ». Une valeur élevée de cet indice correspond à une communauté composée de plusieurs taxons dont les densités sont semblables, ce qui correspond habituellement à des conditions favorables du milieu. À l'inverse, une valeur faible traduit des conditions de vie défavorables qui permettent à peu d'espèces de s'établir. L'indice de Shannon et Weaver est utilisé en écologie aquatique en tant que paramètre synthétique de la structure des communautés.

J varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 lorsque l'effectif total est dominé par très peu de taxons et tend vers 1 si plusieurs taxons dominent l'effectif total.

En outre, la fréquence d'occurrence de chaque taxon ou indice de constance de Dajoz a été calculée. C'est le rapport, exprimé en pourcentage, entre le nombre de relevés X_i où l'on trouve le taxon i et le nombre total X de relevés réalisés au cours de l'étude dans une même station. Elle a été calculée par la formule

$$C = 100 * \frac{X_i}{X}$$

Selon la valeur de C , Dajoz (2000) distingue trois groupes de taxon :

- des taxons constants ($C \geq 50 \%$) ;
- des taxons accessoires ($25 \% \leq C < 50 \%$) ;
- des taxons accidentels ($C < 25 \%$).

Par ailleurs, la densité des EPT, l'Indice Biotique de Hilsenoff (HBI), le pourcentage des taxons tolérants (%TT) et des taxons intolérants (%TI) à la pollution organique ont été également utilisés pour évaluer l'intégrité écologique des cours d'eau d'étude.

La densité des EPT correspond à la somme des individus appartenant aux ordres des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères.

HBI a été calculé pour estimer le degré de tolérance des taxons rencontrés à la pollution organique. La formule employée est :

$$HBI = \sum \frac{x_i t_i}{N}$$

x_i = nombre d'individus du taxon i ; t_i = tolérance du taxon i ; N = nombre d'individus composant l'échantillon. L'échelle d'interprétation du HBI est consignée au tableau III, chapitre 1.

Le pourcentage des taxons tolérants et des taxons intolérants à la pollution organique a été calculé suivant les expressions ci-après :

$$\% \text{ taxons intolérants} = \frac{\text{abondance des organismes à } FTV < 4}{\text{abondance totale}} * 100$$

$$\% \text{ taxons tolérants} = \frac{\text{abondance des organismes à } FTV > 6}{\text{abondance totale}} * 100$$

FTV = « Family Tolerance Valu »e ou valeur ou cote de la tolérance de la famille.

II.3.4.2. Approche fonctionnelle

Dans cette approche, les différents groupes fonctionnels alimentaires composant la communauté de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau selon Cummins et *al.* (2005) ont été déterminés. Pour ce faire, le nombre total d'individus de chaque taxon appartenant à chaque groupe a été calculé en s'inspirant de Mandaville (2002).

II.3.4.3. Calcul de l'Indice de Qualité de l'Habitat

Les paramètres servant à la description de l'habitat des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao ont été adaptés de Moisan et Pelletier (2008) et de Moisan (2010). Ils ont été évalués sur une distance de 100 m et appartiennent à 04 catégories : optimale, sous-optimale, marginale, pauvre. Chaque paramètre a un pointage variant de 0 à 3 (Tab. VI). La somme de ces valeurs constitue l'indice de qualité de l'habitat pour les cours d'eau étudiés qui varie de 0 à 21. La description des paramètres utilisés est présentée en annexe 2.

II.3.4.4. Traitement statistiques des données

Les tests non paramétriques H de Kruskal-Wallis et le test U de Mann Withney ont été réalisés. Ces tests ont été effectués pour comparer les valeurs des paramètres physico-chimiques

et les abondances des organismes étudiés entre les stations d'échantillonnage et entre les cours d'eau. Toutefois, avant de réaliser ces tests, la normalité des données a été recherchée en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov.

Des Analyses en Composantes Principales (ACP) faites à partir des données des neuf stations d'étude, ont permis d'identifier les périodes qui ont présenté de grandes similitudes au niveau des paramètres abiotiques et biotiques tout au long de l'étude. L'ACP propose une représentation permettant de mettre en évidence d'éventuelles structures au sein des données. Le but de l'utilisation de cette analyse est de résumer le maximum d'informations possibles pour faciliter l'interprétation d'un grand nombre de données initiales.

Le logiciel XLSTAT 2007 a permis d'effectuer toutes les analyses statistiques.

Tableau VI : Fiche de calcul de l'IQH

Paramètre de l'habitat	Catégories			
	Optimale	Sous-optimale	Marginale	Pauvre
Habitats aquatiques (sable, débris végétaux, ripisylve ou ses racines, macrophytes, argile, vase/litière, pierres)	4-5 habitats présents	3 habitats présents	2 habitats présents	1 habitat présent
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
Présence de fosses et substrat de fosses	fosses présentes ; mélange de sable, argile, macrophytes et débris végétaux	fosses présentes ; sable, argile, macrophytes ou débris végétaux	pas de fosses, fond rectiligne ; mélange de sable, argile, macrophytes et débris végétaux	pas de fosses, fond rectiligne ; mélange de sable, argile, macrophytes ou débris végétaux
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
Sédimentation	l'accumulation de sédiments fins ne change pas la topographie du fond du lit et la section mouillée	l'accumulation de sédiments fins change parfois la topographie du fond du lit et la section mouillée	l'accumulation de sédiments fins change fréquemment la topographie du fond du lit et de la section mouillée	l'accumulation de sédiments fins change toujours la topographie du fond du lit et de la section mouillée
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
Stabilité des berges	berges stables entre les pluies et pas de coupe de la végétation des berges ; érosion des berges absente	berges modérément stables et coupe de la végétation des berges ; érosion des berges minimale	berges modérément instables entre les pluies sans modification du profil ; coupe de la végétation ; érosion active	berges instables portant des marques d'érosion avec modification de la courbe du lit ; coupe permanente de la végétation des berges
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
Protection végétale des berges	végétation présente et dominée par la forêt ; pas d'activité agricole	couvert végétal présent, dominé par le buisson ; faible activité agricole (sur moins de 10 m en amont)	couvert végétal présent, dominé par les herbes ; intense activité agricole (sur plus de 10 m en amont)	couvert végétal absent remplacé par les habitations, le sentier, le mur de soutènement...
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
Type de végétation (naturelle, anthropique)	végétation naturelle uniquement	2 types de végétation, mais végétation naturelle dominante	2 types de végétation, mais végétation anthropique dominante	végétation anthropique uniquement
Pointage	3 points	2 points	1 point	0 point
IQH = pointage total				
Echelle d'interprétation	16 à 21 points = optimal	11 à 15 points = sous-optimal	6 à 10 points = marginale	0 à 5 points = pauvre

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. RESULTATS

III.1.1. Résultats de la première phase

La première phase n'a été effectuée que dans le Mayo Tsanaga. Au cours de cette phase, deux facteurs hydrologiques et cinq facteurs physicochimiques ont été mesurés.

III.1.1.1. Facteurs hydrologiques

III.1.1.1.1. Hauteur maximale de la lame d'eau

Lors de la phase préliminaire qui a duré 13 semaines, la hauteur maximale de la couche d'eau (Heau) au moment de l'échantillonnage dans le Mayo Tsanaga s'est échelonnée de 3 cm à la station MT1 le 28/09/2012 à 108 cm dans la station MT4 le 17/08/2012 (fig. 19). Il est à noter que le démarrage de l'écoulement permanent de l'eau est tardif dans les stations MT5 et MT6 (2 semaines en 2012). D'une manière générale, la hauteur de la couche d'eau au moment de l'échantillonnage varie d'une semaine à l'autre et au sein d'une même station. Elle augmente régulièrement dès la 2^{ème} semaine de permanence de l'eau pour atteindre son maximum à la 5^{ème} semaine avant de commencer à diminuer à la 9^{ème} semaine (mi-août – début septembre). L'évolution de Heau permet de distinguer 3 périodes du début de l'écoulement des eaux jusqu'à l'assec total :

- la première période appelée « début de la permanence de l'eau » correspond à des Heau inférieures à 50 cm et s'étale sur 4 semaines en 2012 (entre fin juillet et mi-août) ;
- la seconde période appelée « mi-permanence de l'eau » correspond à des Heau supérieures ou égales à 50 cm et s'étale sur 5 semaines en 2012 (entre mi-août à mi-septembre) ;
- la troisième période quant à elle qui est appelée « fin de la permanence de l'eau » correspond à des Heau à nouveau inférieures à 50 cm et s'étale sur 4 semaines en 2012 (mi-septembre jusqu'au tarissement des eaux vers mi-octobre).

Ces trois périodes sont respectivement notées A, B et C dans la suite du travail.

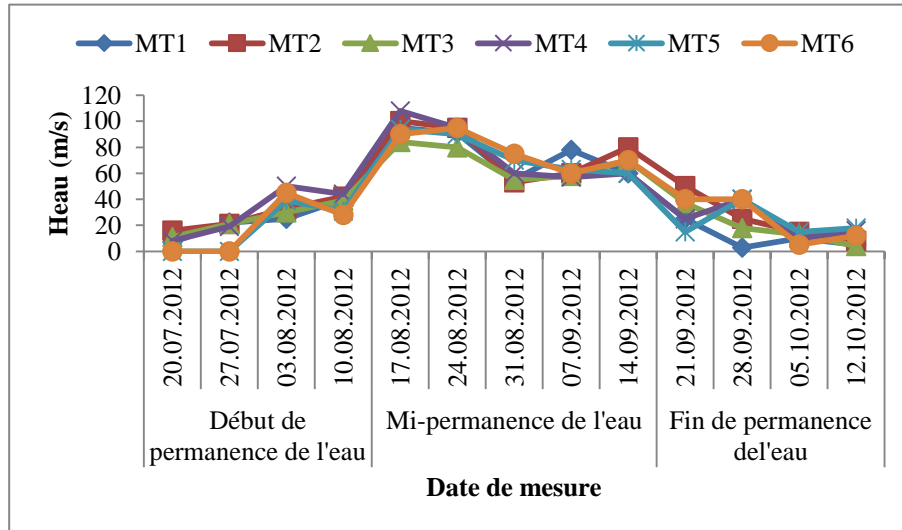


Figure 19 : Variation de la hauteur maximale de l’eau dans le Mayo Tsanaga au cours de la première phase

III.1.1.1.2. Vitesse d’écoulement

Lors de la phase préliminaire, la vitesse du courant dans le Mayo Tsanaga a fluctué entre 0 m/s et 1,32 m/s (fig. 20). L’évolution des courbes de vitesse d’écoulement semaine après semaine ressort clairement la variabilité de cette métrique dans le temps et dans l’espace. On distingue quatre périodes de vitesse de l’eau : vitesse nulle à moyenne dans les premières trois semaines d’écoulement, vitesse moyenne à très rapide de la quatrième semaine à la septième semaine, vitesse moyenne à rapide entre les 7^{ème} et 11^{ème} semaines et vitesse moyenne à nulle de la 11^{ème} semaine au tarissement des eaux dans toutes les stations.

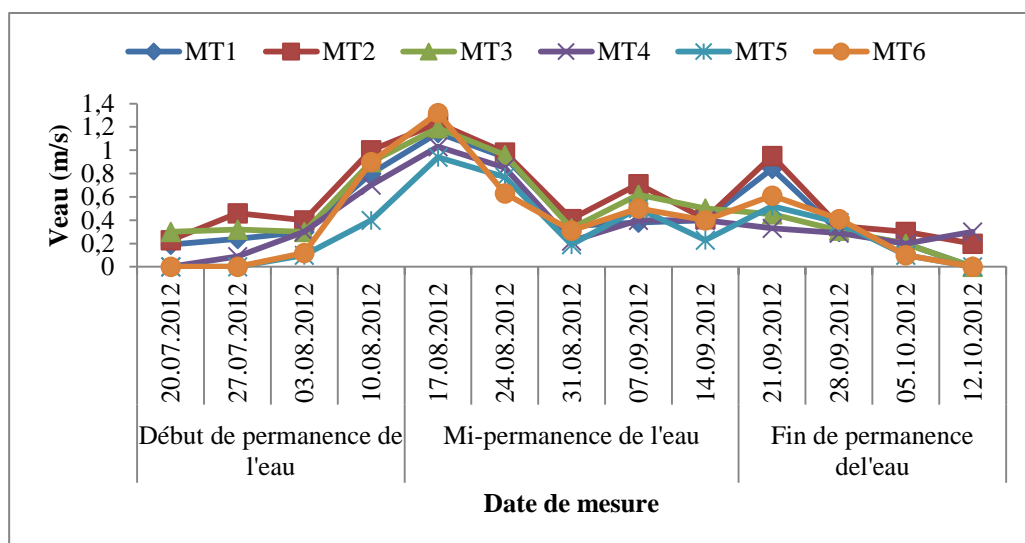


Figure 20 : Variation de la vitesse du courant dans le Mayo Tsanaga lors de la première phase

III.1.1.2. Facteurs physicochimiques

III.1.1.2.1. Température de l'eau

Au cours de la première phase, la température de l'eau du Mayo Tsanaga a varié de 25,0°C à la station MT1 le 17/08/2012 à 38,2°C à la station MT6 le 05/10/2012 (fig. 21). L'écart thermique a été donc de 13,2°C. L'évolution spatio-temporelle de la température montre globalement une augmentation progressive de la température du début à la fin de la permanence des eaux et de l'amont vers l'aval. Une différence hautement significative ($p < 0.0001$, $\alpha = 0,05$) a été observée entre les semaines, notamment entre les premières semaines (du 20/07/2012 au 10/07/2012) correspondant au début de la permanence de l'eau et les dernières semaines (du 21/09/2012 au 12/10/2012) correspondant à la fin de la permanence de l'eau ($p = 0,011$; $\alpha = 0,05$). Aucune différence significative n'a été révélée entre les différentes stations au cours de la première phase.

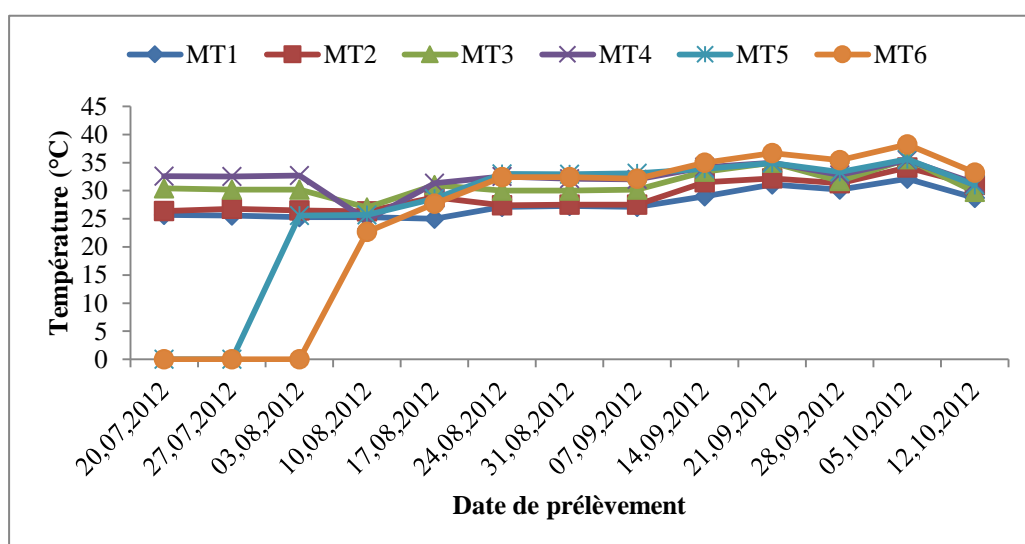


Figure 21 : Variation de la température de l'eau dans le Mayo Tsanaga au cours de la première phase.

III.1.1.2.2. Conductivité électrique de l'eau

Au cours de la première phase, la conductivité électrique de l'eau (EC) du Mayo Tsanaga a varié de 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la station MT2 le 24/08/2012 à 2365 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la station MT4 le 07/09/2012 (fig. 22). Les valeurs moyennes de la conductivité électrique révèlent une minéralisation moyenne à la station MT4 et très faible aux stations MT1, MT2, MT3, MT5 et MT6 au cours de l'étude. Une différence significative a été observée entre les différentes

semaines d'étude, surtout entre le 07/09/2012 et les autres semaines ($p = 0,026$; $\alpha = 0,05$) et entre la station MT4 et les autres stations ($p < 0,001$) au même seuil de significativité.

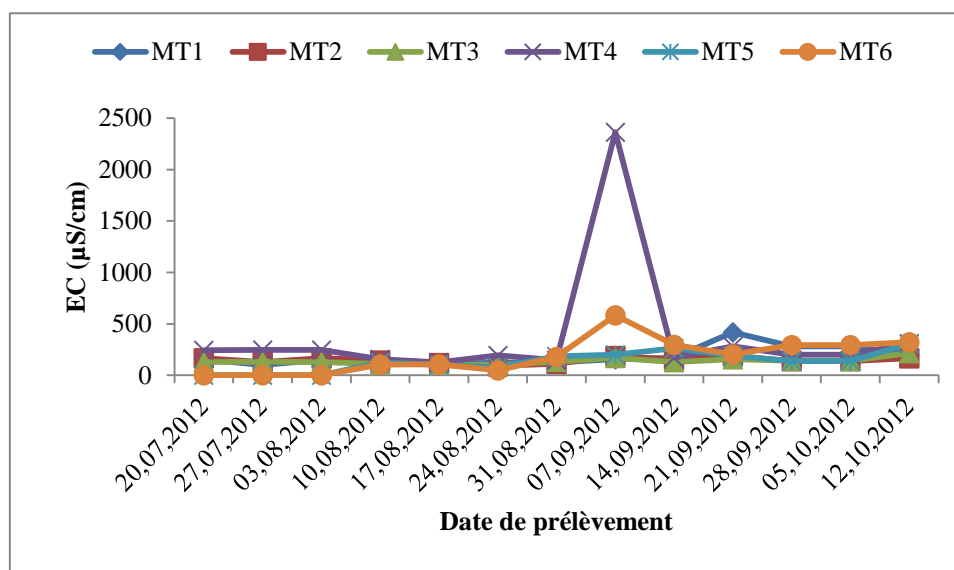


Figure 22 : Variation de la conductivité électrique (EC) au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.

III.1.1.2.3. Nitrates

Au cours de la première phase, les taux des nitrates dans le Mayo Tsanaga ont évolué en dents de scie d'une semaine à l'autre. Les teneurs les plus faibles (0 mg/L de NO_3^-) ont été obtenues à toutes les stations du Mayo Tsanaga (sauf à la station MT4) pendant les premières

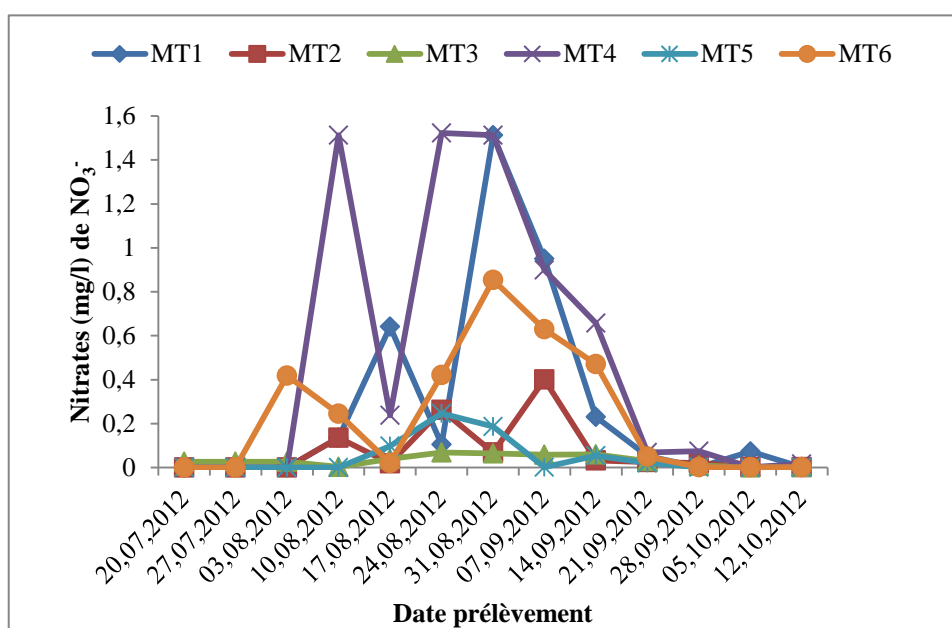


Figure 23 : Variation des nitrates au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.

et les dernières semaines correspondant respectivement au début de la permanence de l'eau et à la fin de la permanence de l'eau (fig.23) tandis que les plus fortes teneurs en cet élément (1,523 mg/L de NO_3^-) ont été obtenues dans les stations MT1 et MT4 les 10/08/2012, 24/08/2012 et 31/08/2012 correspondant à la mi-permanence de l'eau. Une différence significative a été signalée entre les différentes semaines d'étude, notamment entre les semaines du 17/08/2012 au 14/09/2012 (mi-permanence de l'eau) et les autres semaines ($p = 0.01$; $\alpha = 0,05$).

III.1.1.2.4. Ammonium

Au cours de la première phase préliminaire, les taux d'ammonium dans le Mayo Tsanaga ont évolué en trois temps (fig. 24). Lors du premier temps qui correspond au début de la permanence de l'eau (du 20/07/2012 au 10/08/2012), leurs teneurs ont oscillé entre 0,025 mg/L de NH_4^+ et 1,970 mg/L de NH_4^+ , la moyenne de cette période étant 0,339 mg/L de NH_4^+ . Au cours du deuxième temps correspondant à la mi-permanence (du 17/08/2012 au 14/09/2012), les valeurs de cette métrique ont oscillé entre 0,002 mg/L de NH_4^+ et 1,068 mg/L de NH_4^+ , la moyenne de cette période étant 0,074 mg/L de NH_4^+ . Au cours du troisième temps correspondant à la fin de la permanence (du 21/09/2012 au 12/10/2012), leurs teneurs ont oscillé entre 0,002 mg/L de NH_4^+ et 1,050 mg/L de NH_4^+ , la moyenne de cette période étant de 0,219 mg/L de NH_4^+ . Les plus faibles valeurs d'ammonium ont été obtenues dans toutes les stations pendant la mi-permanence et les plus fortes valeurs

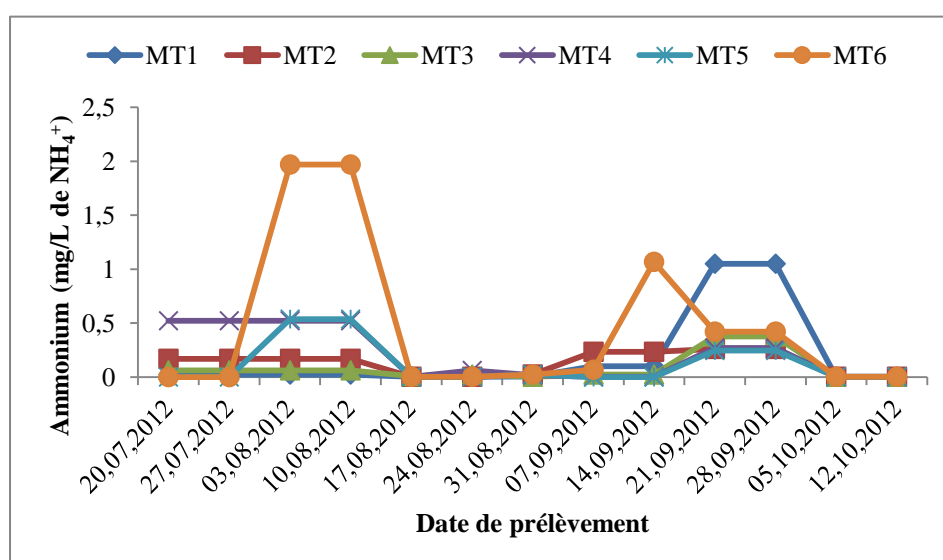


Figure 24 : Variation de l'ammonium au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.

ont été obtenues au début et à la fin de la permanence de l'eau dans les stations MT1 et MT6. Une différence hautement significative a été obtenue entre les différentes semaines ($p < 0,0001$)

au seuil de significativité de 5%, surtout entre les semaines du 03/08/2012 au 10/08/2012 et les semaines du 17/08/2012 au 31/08/2012 ($p = 0,002$; $\alpha = 0,05$), entre le 17/08/2012 et le 14/09/2012 ($p = 0,026$; $\alpha = 0,05$) et entre le 17/08/2012 et le 21/09/2012 ($p = 0,002$; $\alpha = 0,05$).

III.1.1.2.5. Orthophosphates

Au cours de la première phase, les teneurs en orthophosphates dans le Mayo Tsanaga ont évolué également en trois temps correspondant aux trois périodes de permanence de l'eau (fig. 25). Au début de la permanence de l'eau (temps 1), les teneurs d'orthophosphates ont fluctué de 0,0024 mg/L de PO_4^{3-} à 1,519 mg/L de PO_4^{3-} avec une moyenne de 0,355 mg/L. A la mi-permanence de l'eau (temps 2), elles ont varié de 0,012 mg/L de PO_4^{3-} à 0,358 mg/L de PO_4^{3-} , la moyenne de cette période étant de 0,156 mg/L de PO_4^{3-} . A la fin de la permanence de l'eau (temps 3), elles ont varié de 0,058 mg/L de PO_4^{3-} à 2,614 mg/L de PO_4^{3-} , la moyenne de cette période étant de 0,738 mg/L de PO_4^{3-} . Les plus faibles valeurs de cette métrique ont été obtenues dans chaque station à la mi-permanence de l'eau pendant que les plus fortes valeurs ont été obtenues au début et à la fin de la permanence. Une différence significative a été obtenue entre les semaines d'étude ($p = 0,000$; $\alpha = 0,05$), premièrement entre les semaines du 20/07/2012 au 10/08/2012 et les semaines du 17/08/2012 au 14/09/2012 ($p = 0,0015$; $\alpha = 0,05$), deuxièmement entre les semaines du 20/07/2012 au 10/08/2012 et les semaines du 21/09/2012 au 28/09/2012 ($p = 0,026$; $\alpha = 0,05$) et troisièmement entre les semaines 17/08/2012 au 07/09/2012 et celles du 21/09/2012 au 28/09/2012 ($p = 0,002$; $\alpha = 0,05$).

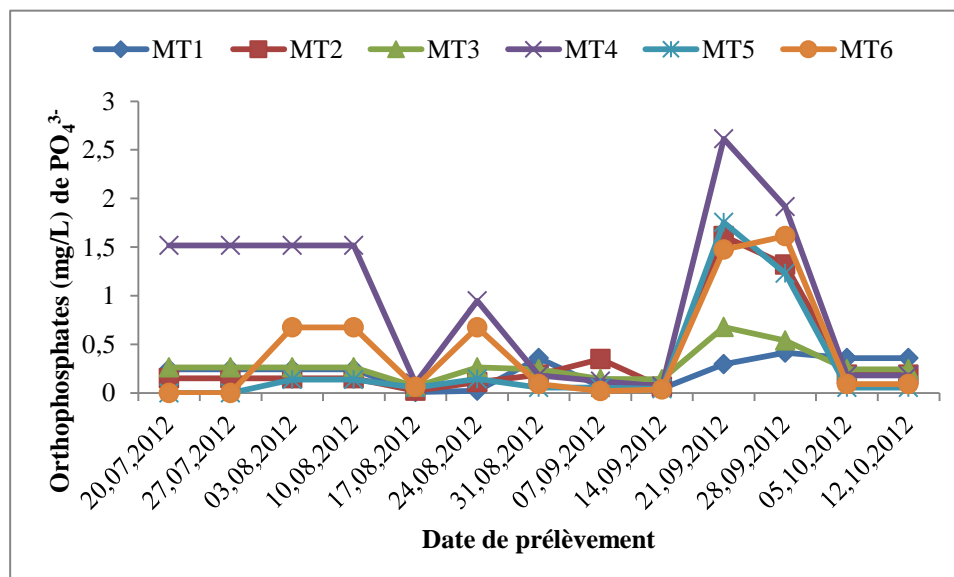


Figure 25 : Variation des orthophosphates au cours de la première phase dans le Mayo Tsanaga.

III.1.2. Résultats de la deuxième phase d'étude

III.1.2.1. Facteurs hydrologiques

III.1.2.1.1. Profondeur maximale de la lame d'eau (Heau) au moment de l'échantillonnage

La hauteur maximale de la lame d'eau (Heau) au moment du prélèvement dans les Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao montre que la durée de l'écoulement des eaux est très variable selon les années. Cette durée d'écoulement qui était de 13 semaines en 2012, a été de 12

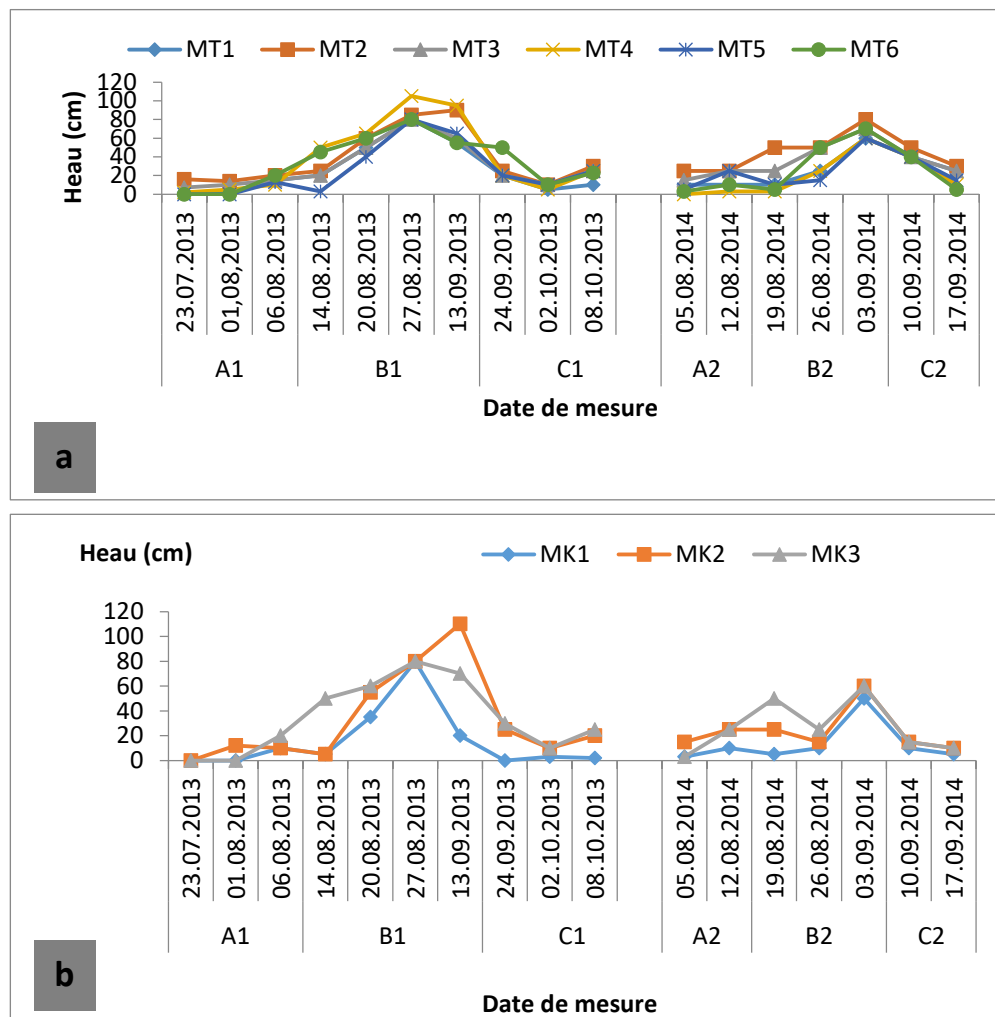


Figure 26: Variation de la hauteur maximale de la lame d'eau dans le Mayo Tsanaga (a) et dans le Mayo Kaliao (b) au moment de l'échantillonnage au cours de l'étude. A = début de permanence de l'eau, B = mi-permanence de l'eau, C = fin de permanence de l'eau, 1 = année 2013, 2 = année 2014.

semaines en 2013 et de 7 semaines en 2014 dans les deux cours d'eau (fig. 26). Heau varie d'une année à l'autre et d'une semaine à l'autre au sein d'une même station. Elle a augmenté

régulièrement dès la 2^{ème} ou 3^{ème} semaine de permanence et a atteint son maximum à la 4^{ème} ou 5^{ème} semaine (fin août – début septembre). Comme lors de la phase préliminaire, on distingue clairement 3 périodes distinctes au cours de la permanence de l'eau en fonction de la hauteur maximale de l'eau au moment du prélèvement :

- la première période qui est « le début de la permanence de l'eau » s'est étalée sur 3 semaines en 2013 et sur 2 semaines en 2014 (entre fin juillet et mi-août) et correspond à des hauteurs d'eau généralement inférieures à 50 cm ;
- la seconde période qui est « la mi-permanence de l'eau » s'est étalée sur 4 semaines en 2013 et sur 3 semaines en 2014 (mi-août à mi-septembre) et correspond à des hauteurs d'eau généralement supérieures à 50 cm ;

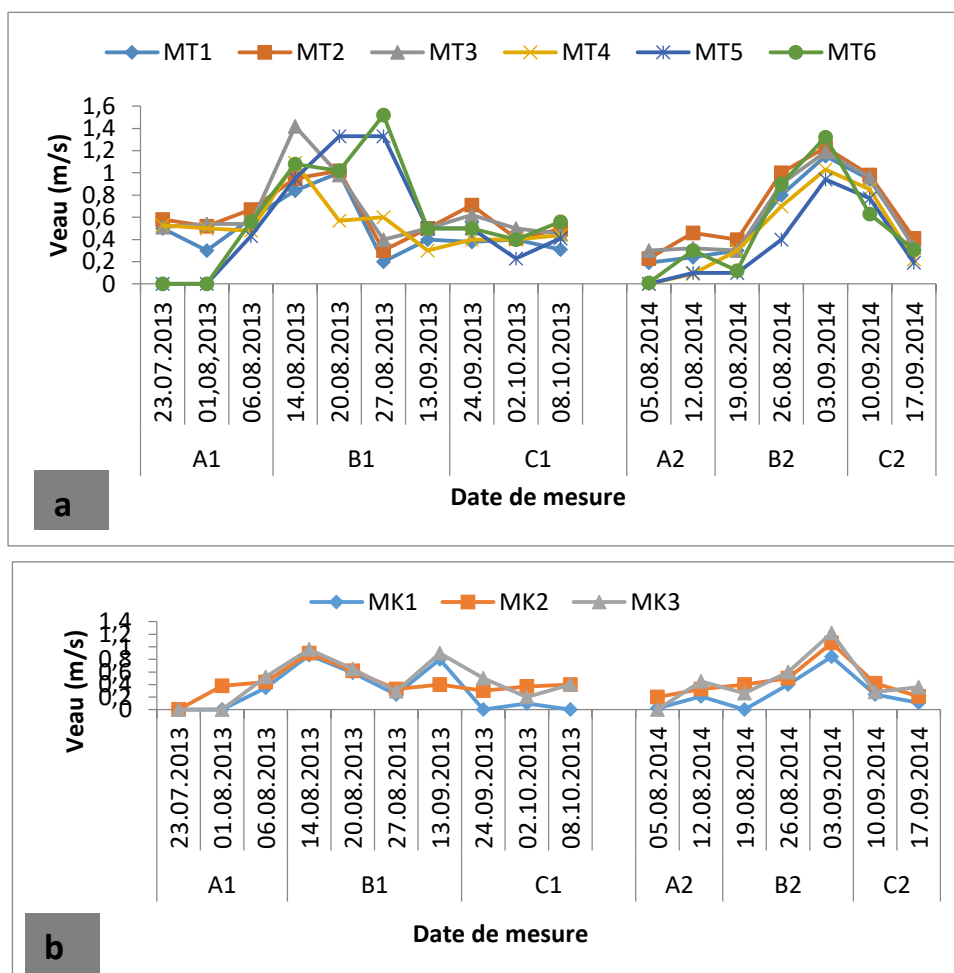


Figure 27: Variation de la vitesse du courant dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao au cours de l'étude. A = début de permanence de l'eau, B = mi-permanence de l'eau, C = fin de permanence de l'eau, 1 = année 2013, 2 = année 2014.

- la troisième période qui est « la fin de la permanence de l'eau » et correspond à des hauteurs d'eau à nouveau inférieures à 50 cm s'est étalée sur 3 semaines en 2013 et sur

2 semaines en 2014 (de mi-septembre jusqu'à l'assèchement total des eaux, généralement au milieu du mois d'octobre).

La hauteur maximale de l'eau dans le Mayo Tsanaga a oscillé entre 0 et 105 cm en 2013 et entre 3 et 80 cm en 2014 (fig. 26a). Dans le Mayo Kaliao, elle a fluctué entre 0 et 110 cm en 2013 et entre 3 et 60 cm en 2014 (fig. 26b). Le début de l'écoulement des eaux a été tardif dans les stations MT4, MT5 et MT6 du Mayo Tsanaga et dans la station MK1 du Mayo Kaliao. Le test de Kruskal-Wallis ne révèle aucune différence significative entre les stations. Cependant, il dévoile une différence significative entre les différentes périodes, notamment entre la mi-permanence et les 2 autres périodes au seuil de sécurité de 5 % ($p = 0,015$).

III.1.2.1.2. Vitesse de l'eau

La vitesse du courant au cours de l'étude dans le Mayo Tsanaga a varié entre 0 et 1,52 m/s en 2013 et entre 0 et 1,23 m/s en 2014 (fig. 27a). Dans le Mayo Kaliao, elle a fluctué de 0 à 0,96 m/s en 2013 et de 0 à 1,22 m/s en 2014 (fig. 27b). Cette métrique varie d'une semaine à l'autre et d'une année à l'autre au sein d'une même station. D'une manière générale, les eaux sont rapides au cours de la mi-permanence de l'eau correspondant à la période des hautes eaux.

III.1.2.2 Variables physico-chimiques

III.1.2.2.1. Dans le Mayo Tsanaga

III.1.2.2.1.1. Température de l'eau

La température de l'eau dans le Mayo Tsanaga s'est échelonnée entre 25,93°C (début de permanence de l'eau à la station MT1) et 35,70°C (fin de permanence de l'eau à la station MT6) en 2013 et entre 27,3°C (début de permanence de l'eau à la station MT1) et 38,2°C (fin de permanence de l'eau à la station MT6) en 2014 (fig. 28a) pour des écarts thermiques respectifs de 9,77°C et de 10,9°C. La moyenne thermique annuelle respective est de $31,53 \pm 2,71^\circ\text{C}$ et de $31,99 \pm 3,21^\circ\text{C}$. Les valeurs moyennes de la température dans cette rivière montrent d'une manière globale que sa valeur augmente progressivement de l'amont vers l'aval et du début à la fin de la permanence de l'eau (annexes 3 et 4). Aucune différence significative n'existe entre les six stations et entre les deux années d'étude, cependant, une différence très significative a été observée entre les périodes de prélèvement, notamment entre le début de la permanence de l'eau et les deux autres périodes ($p = 0,002$) à $\alpha = 5\%$.

III.1.2.2.1.2. pH

Le pH dans le Mayo Tsanaga a varié de 7,14 UC (début de permanence de l'eau à la station MT1) à 8,74 UC (mi-permanence de l'eau à la station MT4) en 2013 et de 7,11 UC (début de permanence de l'eau à la station MT1) à 8,88 UC (mi-permanence de l'eau à la station MT4) en 2014 et indique une tendance à l'alcalinité ($\text{pH} > 7$) à toutes les stations et à toutes les périodes de l'étude (fig. 28c). Les valeurs moyennes de ce paramètre (annexes 3 et 4) montrent que seule la station MT4 a un $\text{pH} > 8$ UC. Aucune différence significative n'existe ni entre les stations, ni entre les différentes périodes d'échantillonnage, ni entre les années.

III.1.2.2.1.3. Conductivité électrique

La valeur de la conductivité électrique de l'eau du Mayo Tsanaga a fluctué entre 32,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fin de permanence de l'eau à la station MT3) et 255,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fin de permanence de l'eau à la station MT1) en 2013 et entre 43,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fin de permanence de l'eau à la station MT2) et 2630,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mi-permanence de l'eau à la station MT4) en 2014 (fig. 28e). Les valeurs moyennes de la conductivité électrique (annexes 3 et 4) montrent une minéralisation allant de très faible à faible dans les stations MT1, MT2, MT3, MT5 et MT6 à toutes les périodes de prélèvement et allant d'une minéralisation très faible à moyennement accentuée à la station MT4 pendant les mêmes périodes. Aucune différence significative n'a été observée entre les 3 périodes de permanence des eaux et entre les stations en 2013. Cependant une différence hautement significative a été observée entre la station MT4 en 2014 à la mi-permanence de l'eau et les autres stations ($p < 0,0001$; $\alpha = 0,05$).

III.1.2.2.1.4. Nitrates

La valeur des nitrates dans le Mayo Tsanaga a varié de 0,000 mg/L de NO_3^- (début de la permanence dans les stations MT1, MT2, MT4 et MT5) à 1,512 mg/L de NO_3^- (mi-permanence à la station MT4) en 2013 et de 0,000 mg/L de NO_3^- (mi-permanence de l'eau à la station MT5) à 2,000 mg/L de NO_3^- (mi-permanence de l'eau à la station MT6) en 2014 (fig. 28b). Les valeurs moyennes périodiques des nitrates (annexes 3 et 4) indiquent que les eaux sont plus riches en cet élément au cours de la mi-permanence de l'eau et surtout dans les stations MT1, MT4 et MT6. Aucune différence n'existe ni entre les périodes de prélèvement, ni entre les stations du Mayo Tsanaga, ni entre les années pour cette métrique au seuil de signification 5 %.

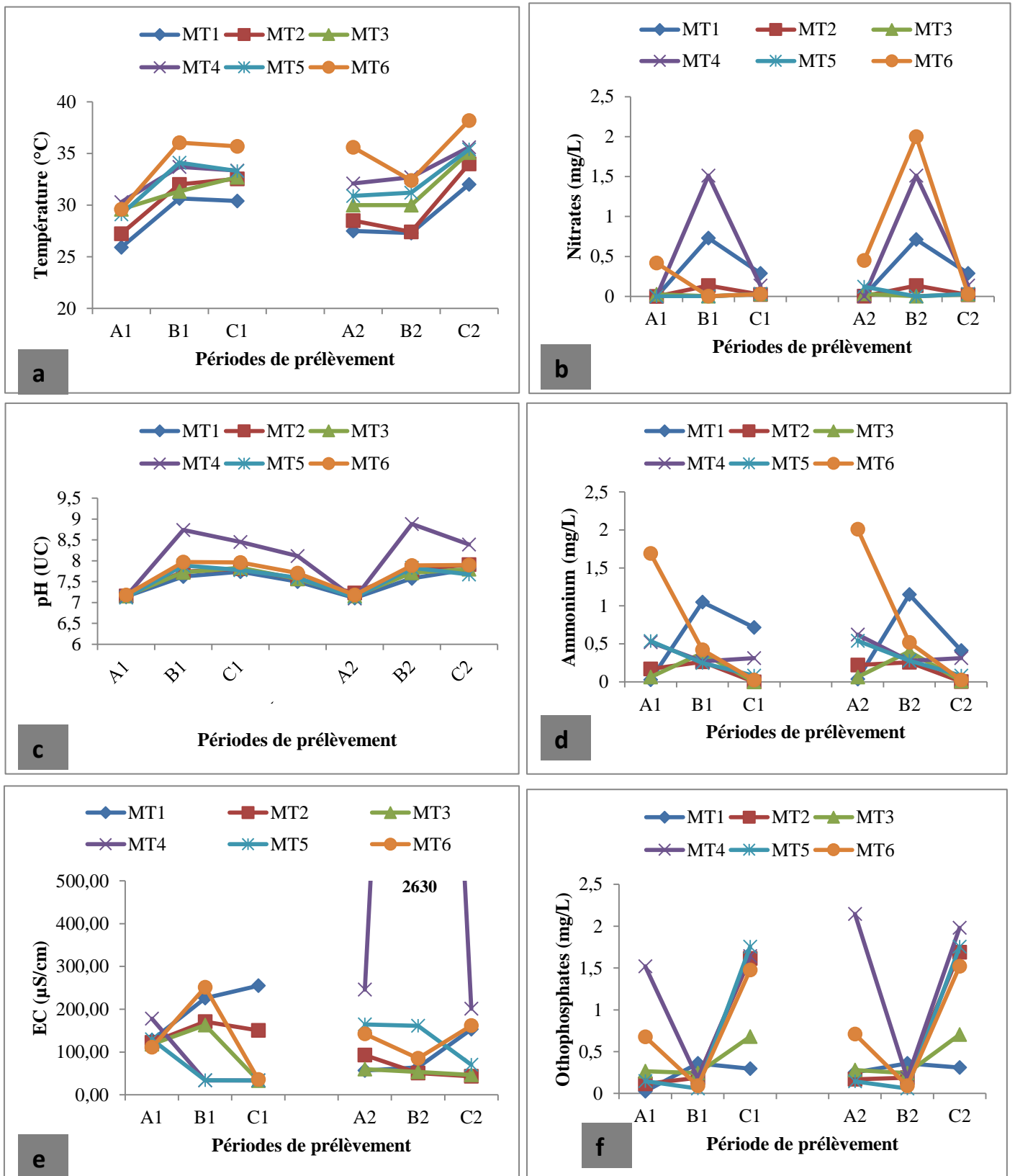


Figure 28: Variation spatiotemporelle de la température (a), des nitrates (b), du pH (c), de l'ammonium (d), de la conductivité électrique (e) et des orthophosphates (f) dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude (A = début de permanence de l'eau, B = mi-permanence de l'eau, C = fin de permanence de l'eau, 1 = année 2013, 2 = année 2014)

III.1.2.2.1.5. Ammonium

La valeur de l'ammonium a fluctué dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude entre 0 mg/L de NH_4^+ (fin permanence de l'eau aux stations MT2 et MT3) et 1,69 mg/L de NH_4^+ (début de permanence à la station MT6) en 2013 et entre 0,003mg/l de NH_4^+ (fin de permanence de l'eau à la station MT2) et 2,010 mg/L de NH_4^+ (début de permanence de l'eau à la station MT6) en 2014 (fig. 28d). Les valeurs moyennes de cet élément (annexes 3 et 4) montrent que sa teneur dans l'eau diminue progressivement du début à la fin de la permanence de l'eau et que les stations MT1, MT4, MT5 et MT6 sont les plus concentrées en ammonium. Aucune différence significative a été signalée ni entre les stations, ni entre les périodes de prélèvements, ni entre les années au seuil de signification 5 %.

III.1.2.2.1.6. Orthophosphates

La teneur de l'eau en orthophosphates dans le Mayo Tsanaga a varié entre 0,024 mg/L de PO_4^{3-} (début de permanence à la station MT1) et 1,755 mg/L de PO_4^{3-} (fin de permanence à la station MT5) en 2013 et entre 0,058 mg/L de PO_4^{3-} (mi-permanence à la station MT5) et 2,146 mg/L de PO_4^{3-} (début de permanence à la station MT4) (fig. 28f). Les valeurs moyennes d'orthophosphates (annexes 3 et 4) montrent que les forts taux de cet indicateur sont enregistrés à la fin de la permanence de l'eau et que la station MT4 est la plus enrichie. Il n'existe aucune différence significative ni entre les stations ni entre les périodes de prélèvement ni entre les années d'études dans le Mayo Tsanaga.

III.1.2.2.2. Dans le Mayo Kaliao

III.1.2.2.2.1. Température de l'eau

La température de l'eau le Mayo Kaliao a varié entre 23,5°C et 35,5°C en 2013 et entre 26,2°C (début de permanence de l'eau à la station MK1) à 35,5°C (fin de permanence de l'eau à la station MK3) en 2013 et de 25,8°C (mi-permanence de l'eau à la station MK1) à 38,0°C (fin de permanence de l'eau à la station MK3) en 2014 (fig. 29a), les écarts thermiques annuels respectifs étant 12,0°C et 12,4°C. La moyenne thermique annuelle respective est de $28,3 \pm 3,71^\circ\text{C}$ et de $30,01 \pm 4,08^\circ\text{C}$. Les valeurs moyennes de la température dans le Mayo Kaliao montrent d'une manière globale que la température augmente progressivement de l'amont vers l'aval et du début à la fin de la permanence de l'eau (annexes 5 et 6). Aucune différence significative n'existe ni entre les stations, ni entre les périodes de prélèvement, ni entre les deux années d'étude à $\alpha = 5\%$.

III.1.2.2.2.2. pH

Le pH de l'eau du Mayo Kaliao s'est échelonné entre 7,14 UC (début de permanence de l'eau à la station MK1) et 8,22 UC (mi-permanence de l'eau à la station MK3) en 2013 et entre 7,15 UC (début de la permanence de l'eau à la station MK1) et 8,31 UC (à la mi-permanence de l'eau à la station MK3) en 2014 (fig. 29b). Ces valeurs du pH indiquent une tendance à l'alcalinité ($\text{pH} > 7$) à toutes les stations et à toutes les périodes de l'étude. Aucune différence significative n'existe ni entre les stations, ni entre les différentes périodes d'échantillonnage, ni entre les années à $\alpha = 5\%$.

III.1.2.2.2.3. Conductivité électrique de l'eau

La valeur de la conductivité électrique de l'eau du Mayo Kaliao a fluctué entre 102,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fin de permanence de l'eau à la station MK3) et 683,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fin de permanence de l'eau à la station MK1) en 2013 et entre 34,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mi-permanence de l'eau à la station MK1) et 185,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mi-permanence de l'eau à la station MK3) en 2014 (fig. 29c). Les valeurs moyennes de la conductivité électrique (annexes 5 et 6) montrent une minéralisation allant de très faible à faible dans toutes les stations du Mayo Kaliao à toutes les périodes de prélèvement. Aucune différence significative n'a été observée entre les stations, entre les 3 périodes de permanence des eaux et entre les années d'étude au seuil de significativité de 5%.

III.1.2.2.2.4. Nitrates

Dans le Mayo Kaliao, les teneurs des nitrates ont fluctué entre 0,002 mg/L de NO_3^- (fin de permanence de l'eau à la station MK3) et 1,466 mg/L de NO_3^- (fin de permanence de l'eau à la station MK1) en 2013 et entre 0,000 mg/L de NO_3^- (fin de permanence de l'eau à la station MK1) et 1,466 mg/L de NO_3^- (mi-permanence de l'eau à la station MK1) en 2014 (fig. 29d). Les valeurs moyennes des nitrates (annexes 5 et 6) indiquent que la station MK1 est la plus enrichie et que cet élément est presque absent des eaux en fin de permanence des eaux. Aucune différence n'existe ni entre les périodes de prélèvement, ni entre les stations, ni entre les années d'étude au seuil de significativité de 5%.

III.1.2.2.2.5. Ammonium

Le taux d'ammonium du Mayo Kaliao a oscillé entre 0,000 mg/L de NH_4^+ (fin de permanence de l'eau à la station MK1) et 1,113 mg/L de NH_4^+ (début de permanence de l'eau à la station MK3) en 2013 et entre 0,000 mg/L de NH_4^+ (mi-permanence de l'eau à la station

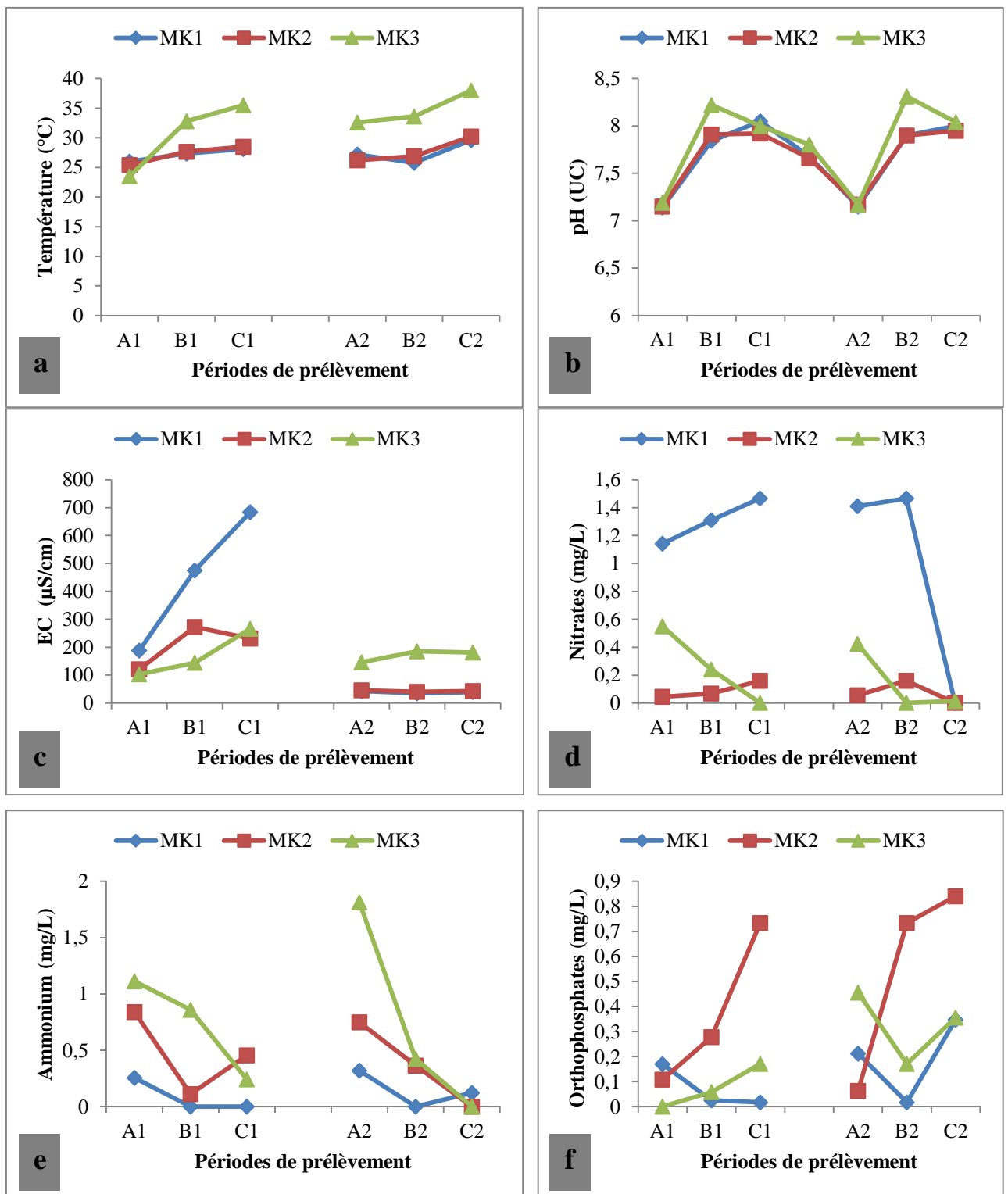


Figure 29: Variation spatiotemporelle de la température (a), du pH (b), de la conductivité électrique (c), des nitrates (d), de l'ammonium (e) et des orthophosphates (f) dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude. (A = début de permanence de l'eau, B = mi-permanence de l'eau, C = fin de permanence de l'eau, 1 = année 2013, 2 = année 2014).

MK1) et 1,815 mg/L de NH_4^+ (début de permanence de l'eau à la station MK3) en 2014 (fig. 29e). Les valeurs moyennes de l'ammonium (annexes 5 et 6) indiquent une diminution progressive du taux d'ammonium du début à la fin de la permanence de l'eau et un enrichissement progressif en cet élément de l'amont vers l'aval. Aucune différence significative n'a été signalée entre les stations, entre les périodes de prélèvements et entre les années d'étude.

III.1.2.2.2.6. Orthophosphates

Les teneurs en orthophosphates du Mayo Kaliao ont oscillé entre 0,000 mg/L de PO_4^{3-} (début de permanence de l'eau à la station MK3) et 0,734 mg/L de PO_4^{3-} (fin de permanence de l'eau à la station MK2) en 2013 et entre 0,017 mg/L de PO_4^{3-} (mi-permanence de l'eau à la station MK1) et 0,841 mg/L de PO_4^{3-} (fin de permanence de l'eau à la station MK2) en 2014 (fig. 29f). Les valeurs moyennes (annexes 5 et 6) indiquent un enrichissement progressif des eaux du Mayo Kaliao en orthophosphates du début à la fin de la permanence des eaux. Il n'existe aucune différence significative entre les stations du Mayo Kaliao, entre les périodes de prélèvement et entre les deux années d'étude au seuil de significativité 5%.

III.1.2.3. Interrelation entre variables physicochimiques

III.1.2.3.1. Dans le Mayo Tsanaga

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée à partir des valeurs des six variables physicochimiques mesurées au niveau des 6 stations du Mayo Tsanaga. La répartition que présente l'ACP associant les stations aux niveaux d'eau dans le Mayo Tsanaga est expliquée à 34,10 % par le premier axe et à 28,86 % par le second axe (fig. 30).

Le premier axe permet de remarquer que les stations MT4 et MT5 en mi-permanence de l'eau et les stations MT2, MT3, MT4 et MT5 en fin de permanence de l'eau de l'année 2013 ainsi que les stations MT4 et MT6 en mi-permanence de l'eau et toutes les stations en fin de permanence de l'eau au cours de l'année 2014 (fig. 30b) sont caractérisées par des eaux chaudes et riches en éléments nutritifs (fig. 30a). On peut donc penser que ces stations à ces périodes de prélèvement sont influencées par une pollution de type organique. A contrario, et pour le même axe, on observe que la plupart des stations en début de permanence des eaux et les stations MT1, MT2 et MT3 en mi-permanence de l'année 2013 ainsi que toutes les stations au début et les stations MT1, MT2 et MT5 en mi-permanence des eaux de l'année 2014 (fig. 30b) sont caractérisées par des eaux dont les teneurs en éléments nutritifs et

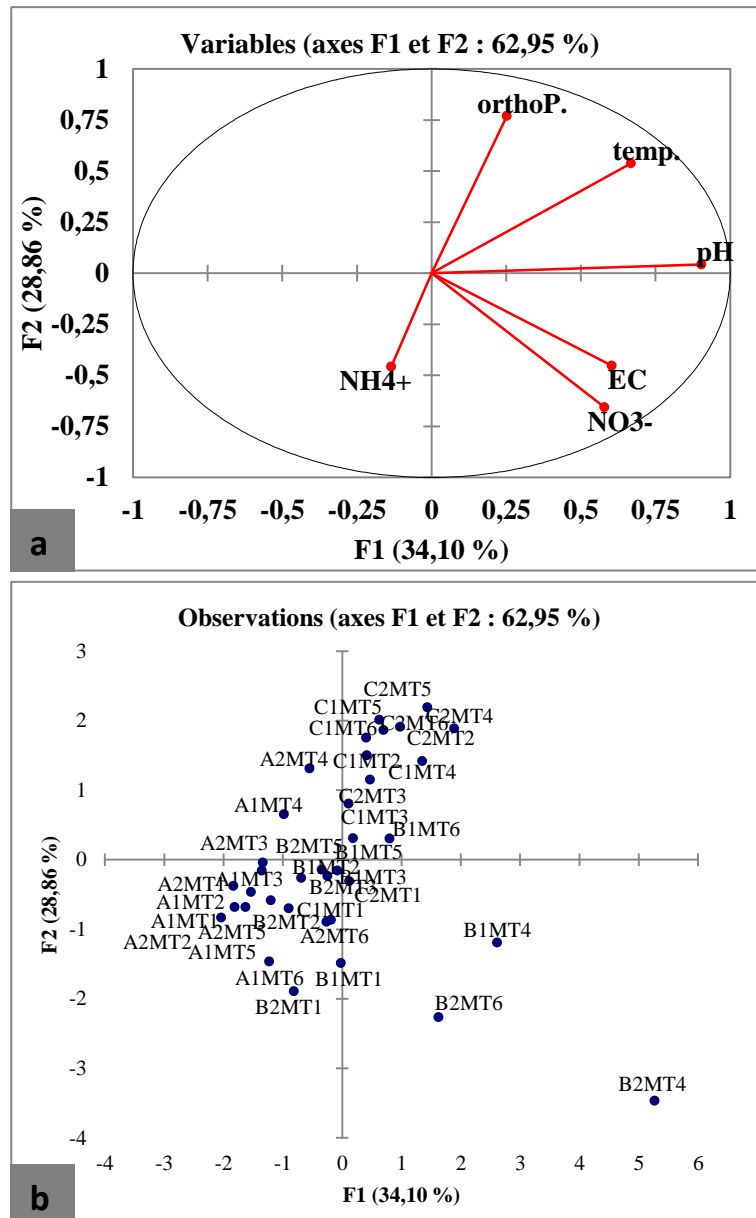


Figure 30: ACP des paramètres physico-chimiques des différentes stations d'étude du Mayo Tsanaga. a- Projection des variables physico-chimiques sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (temp. : température ; EC : Conductivité électrique ; NO₃⁻ : Nitrates ; NH₄⁺ : Azote ammoniacal ; OrthoP. : Orthophosphates). b- Projection des stations d'étude décrites par leurs caractéristiques physico-chimiques, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP.

polluants sont faibles. On peut croire que la dégradation de la matière organique présente est encore insuffisante dans ces stations et à ces périodes pour permettre une minéralisation conséquente. Le second axe de la figure relève des eaux chaudes et riches en orthophosphates en fin de permanence dans toutes les stations au cours des deux années d'étude alors qu'en début de permanence les eaux charrient des polluants riches en azote ammoniacal (fig. 30 a et

b). Une remarque importante est celle de la station 4 en mi-permanence des eaux de l'année 2014 qui, selon les deux axes de répartition de la distribution, est très polluée autant en substances organiques qu'en éléments minéraux.

Quoique les deux principaux axes expliquant la répartition soient les axes F1 et F2, une projection orthogonale de la distribution définie par l'axe F3 (17,19 % d'inertie) permet tout de même d'observer une évolution progressive de la qualité des eaux des stations selon que l'on va du début vers la fin de la permanence de l'eau dans le Mayo Tsanaga. Cet axe montre qu'en début de permanence, les eaux sont moins polluées et riches en ion ammonium, en mi-permanence elles sont minéralisées alors qu'en fin de permanence elles deviennent plus chaudes et riches en orthophosphates.

III.1.2.3.2. Dans le Mayo Kaliao

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée également à partir des valeurs des six variables physicochimiques mesurées au niveau des 3 stations du Mayo Kaliao. La répartition que présente l'ACP associant les stations aux niveaux d'eau dans le Mayo Kaliao est expliquée à 37,05 % par le premier axe et à 29,40 % par le second axe (fig. 31).

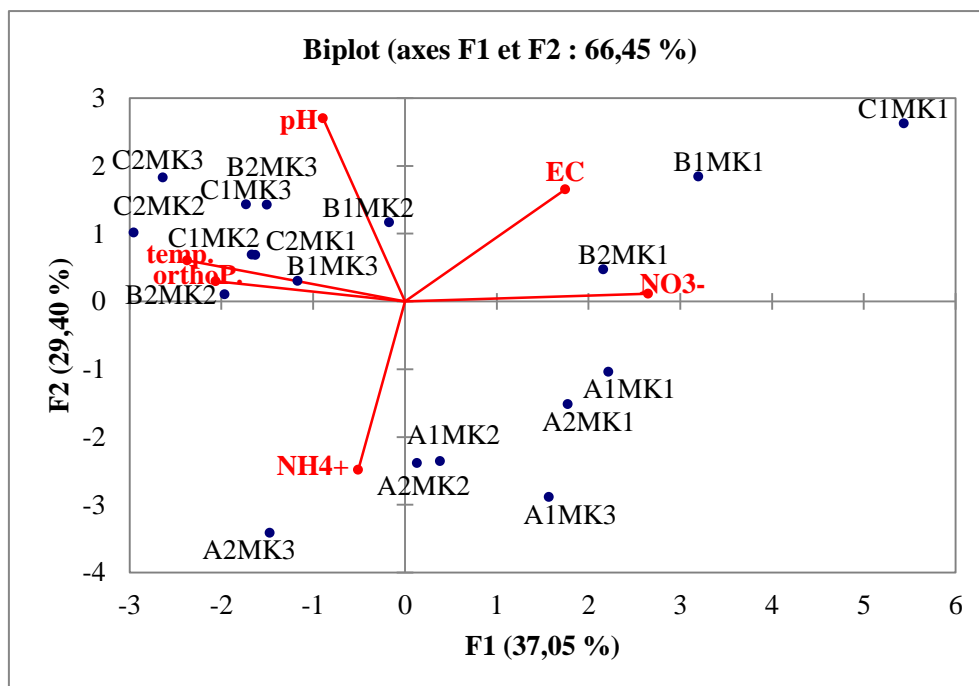


Figure 31 : ACP des paramètres physico-chimiques des différentes stations d'étude du Mayo Kaliao (temp. : température ; EC : Conductivité électrique ; NO3- : Nitrates ; NH4+ : Azote ammoniacal ; OrthoP : Orthophosphates)

L'axe F1 permet de remarquer que la station MK1 et la station MK3 en début de permanence de l'eau, la station MK1 en mi-permanence et en fin de permanence de l'eau de l'année 2013 ainsi qu'en mi-permanence de l'eau de l'année 2014 est caractérisée par des eaux riches en éléments nutritifs (fig. 31) laissant croire à une pollution organique. Cet axe montre également que la station MK3 en début de permanence de l'année 2014 conduit des eaux riches en azote ammoniacal. L'axe F2 quant à lui permet de relever que la station MK1 en fin de permanence de l'année 2014 et les stations MK2 et MK3 en mi-permanence et en fin permanence de l'eau des années 2013 et 2014 sont caractérisées par des eaux chaudes, riches en orthophosphates et à tendance alcalines. Par ailleurs, cet axe relève que dans les stations MK2 et MK3 en début de permanence, les eaux sont riches en ion ammonium et pauvres en nutriments laissant croire comme dans le Mayo Tsanaga que la dégradation de la matière organique présente est encore insuffisante dans ces stations et à cette période pour permettre une minéralisation conséquente de l'eau. Les 2 axes F1 et F2 opposent donc le début de permanence des eaux aux deux autres périodes de prélèvement dans le Mayo Kaliao.

III.1.2.4. Indice de qualité de l'habitat

III.1.2.4.1. Du Mayo Tsanaga

L'indice de qualité de l'habitat (IQH) du Mayo Tsanaga est égal à 10 dans les stations MT1 à MT5 et égal à 11 dans la station MT6. Ces valeurs de l'IQH montrent que les stations MT1 à MT5 appartiennent à la catégorie « marginale » alors que la station MT6 appartient à la catégorie « sous-optimale » à MT6 (Tab. VII). Cela signifie que la station MT6 est plus apte à soutenir une faune de macroinvertébrés benthiques que les autres stations du Mayo Tsanaga.

Tableau VII : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Tsanaga

	Mayo Tsanaga					
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6
Habitats aquatiques	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale
Fosse et substrat de fosse	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale
Sédimentation	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale
Stabilité des berges	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Optimale
Protection végétale des berges	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale
Types de végétation	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre
Pointage final	10	10	10	10	10	11
IQH	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Sous-optimale

III.1.2.4.2. Du Mayo Kaliao

L'indice de qualité de l'habitat (IQH) du Mayo Kaliao est égal à 11 dans la station MK1 et égal à 12 dans les stations MK2 et MK3 (Tab. VIII). Ces valeurs de l'IQH relèvent que toutes les stations du Mayo Kaliao appartiennent à la catégorie « sous-optimale » donc, elles sont toutes aptes à soutenir une faune de macroinvertébrés benthiques.

D'une manière générale, les valeurs de l'IQH dans chaque cours d'eau montrent que le Mayo Kaliao est plus apte à accueillir les communautés benthiques que le Mayo Tsanaga

Tableau VIII : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Kaliao

	Mayo Kaliao		
	MK1	MK2	MK3
Habitats aquatiques	Sous-optimale	Optimale	Marginale
Fosse et substrat de fosse	Optimale	Optimale	Optimale
Sédimentation	Marginale	Marginale	Marginale
Stabilité des berges	Sous-optimale	Optimale	Optimale
Protection végétale des berges	Sous-optimale	Pauvre	Optimale
Types de végétation	Pauvre	Pauvre	Pauvre
Pointage final	11	12	12
IQH	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale

Les caractéristiques des habitats étudiés et les catégories auxquelles elles appartiennent ont été étudiées dans l'optique d'évaluer la capacité des rivières à soutenir une communauté vivante.

III.1.2.5. Macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao

III.1.2.5.1. Faune benthique globale des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao

Les études hydrobiologiques amorcées dans les cours d'eau temporaires en milieu soudano-sahélien au Cameroun en 2013 et en 2014 ont permis de recenser au cours de ces années d'échantillonnages, 30891 individus et 56 familles de macroinvertébrés benthiques appartenant à plusieurs groupes zoologiques dont les plus importants sont les Hexapodes, les Mollusques, les Annélides et les Crustacés (Tab. IX).

La classe des Hexapodes comptent 50 familles (89,29% de la richesse taxonomique totale), la classe des Crustacés 2 familles (3,57% de la richesse taxonomique totale) et l'Embranchement des Mollusques 4 familles (7,14% de la richesse taxonomique totale).

Les Insectes sont également les plus prépondérants avec 93,38 % de l'abondance totale, suivis par les Annélides (4,31 %), les autres (1,54 %), les Crustacés (0,40 %) et les Mollusques (0,37 %).

Tableau IX: Différents groupes zoologiques recensés dans les cours d'eau étudiés au cours des 02 années de prélèvement

Groupes zoologiques	Ordres/Classes	Nombre de familles	Abondance totale	Pourcentage (%)	Nombre de genres
Hexapodes ou Insectes	Odonates	6	4063	13,15	15
	Ephéméroptères	4	10687	34,60	8
	Hétéroptères	10	5270	17,06	17
	Diptères	15	7131	23,08	19
	Coléoptères	13	1513	4,90	25
	Plécoptères	1	25	0,08	1
	Trichoptères	1	4	0,01	1
	Lépidoptères		40	0,13	
	Isoptères		14	0,05	
	Hyménoptères		95	0,31	
	Orthoptères		5	0,02	
Crustacés	Ostracodes	1	115	0,37	
	Conchostracés	1	9	0,03	
Mollusques	Pulmonés	3	104	0,34	
	Prosobranches	1	11	0,04	
Annélides	Oligochètes		1330	4,31	
Autres	Collemboles		107	0,35	
	Arachnides		359	1,16	
	Hydracariens		8	0,03	
	Chilopodes		1	0,00	
Total		56	30891	100	86

Des 56 familles identifiées, 15 familles appartiennent à l'ordre des Diptères, 13 familles à l'ordre des Coléoptères, 10 familles à l'ordre des Hétéroptères, 6 familles à l'ordre des Odonates, 4 familles à l'ordre des Ephéméroptères et 3 familles à l'ordre des Pulmonés. Les ordres des Prosobranches, des Plécoptères, des Trichoptères, la classe des Ostracodes et la classe des Conchostracés comptent chacun(e) 1 famille. L'identification de certains Hexapodes a été étendue au niveau générique. Ainsi 86 genres ont été identifiés, l'ordre des Coléoptères étant le plus diversifié avec 25 genres (Tab. IX).

En termes d'abondance taxonomique, 6 taxons totalisent 97,10% de l'effectif total. Il s'agit de l'ordre des Ephéméroptères qui domine largement la faune de macroinvertébrés du

Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao avec 34,60% de l'effectif total. Cet ordre est suivi par l'ordre des Diptères (23,08%), l'ordre des Hétéroptères (17,06%), l'ordre des Odonates (13,15%), l'ordre des Coléoptères (4,90%) et la classe des Oligochètes (4,31%). Les autres taxons ne totalisent que 2,90% de l'abondance taxonomique totale.

L'embranchement des Annélides qui est composé d'une seule classe, les Oligochètes n'a pas pu être étudié jusqu'au rang de famille.

III.1.2.5.2. Communautés de macroinvertébrés de chaque rivière étudiée

III.1.2.5.2.1. Macrofaune benthique globale du Mayo Tsanaga

Tous les taxons composant la macrofaune benthique des cours d'eau étudiés ont été représentés dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude. Sur les 30891 individus dénombrés lors de l'étude, 24937 individus ont été recueillis dans cette rivière, soit 80,73 % de l'abondance totale.

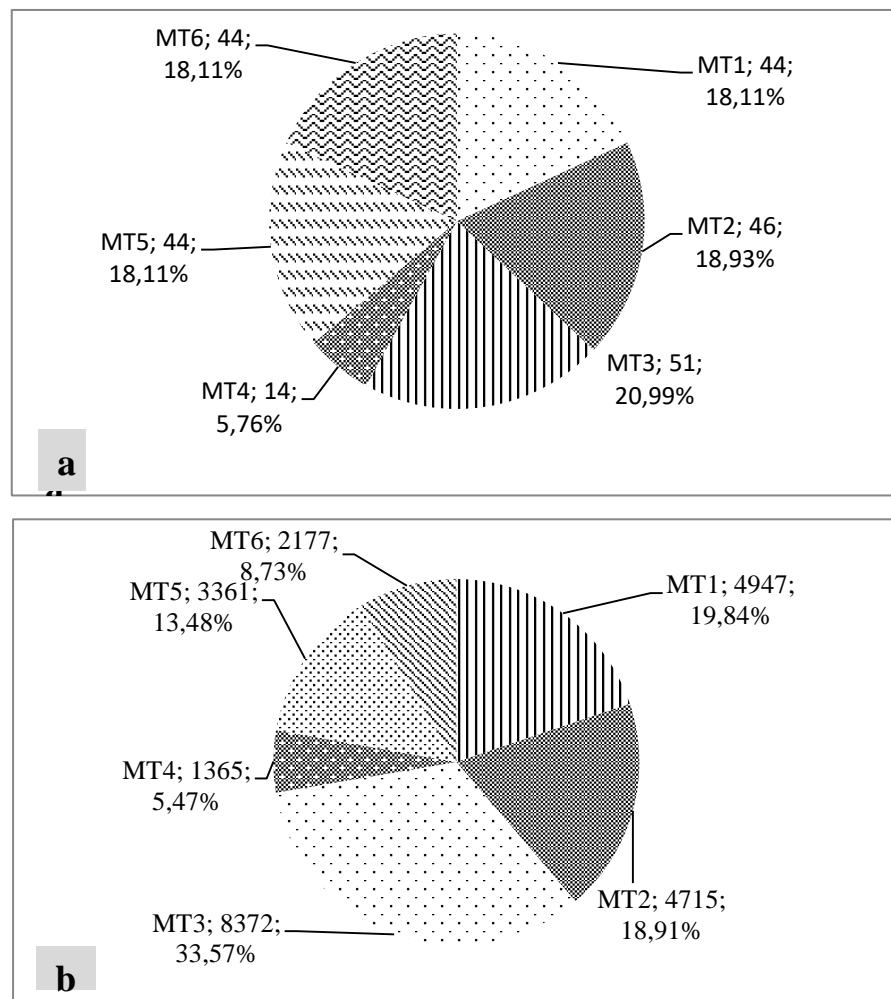


Figure 32 : Variation de la richesse taxonomique (a) et de l'abondance taxonomique (b) le long du Mayo Tsanaga.

Au niveau de la station MT1, 44 taxons (fig. 32a) et 4947 individus (fig. 32b) ont été dénombrés. Parmi ces taxons, 40 appartiennent à la classe des Insectes, 2 à l'Embranchement des Mollusques, 1 à la Classe des Oligochètes et 1 à la classe des Crustacés. La classe des Insectes est également le taxon le plus abondant avec 94,34% de l'effectif total de cette station.

Dans la station MT2, 46 taxons (fig. 32a) et 4715 individus (fig. 32b) ont été dénombrés. La classe des Insectes compte 40 taxons, l'Embranchement des Mollusques 4 taxons, la classe des Oligochètes et celle des Crustacés sont représentées chacune par 1 taxon. C'est toujours la classe des Insectes qui domine dans cette station avec 88,17% de l'abondance totale de la station.

Dans la station MT3, 51 taxons (fig. 32a) et 8372 individus (fig. 32b) ont été dénombrés. Parmi ces taxons, la classe des Insectes est représentée par 45 taxons, l'Embranchement des Mollusques est représenté par 4 taxons, la classe des Crustacés par 1 taxon et la classe des Oligochètes par 1 taxon. La classe des insectes domine toujours le peuplement macrobenthique de cette station avec 87,90% de l'effectif total de cette station.

Dans la station MT4, seulement 14 taxons (dont 13 appartenant à la classe des Insectes et 1 à l'Embranchement des Mollusques) (fig. 32a) et 1365 individus (fig. 32b) ont été dénombrés. La classe des Insectes domine également avec 98,17% de l'abondance totale de la station.

Au niveau de la station MT5, 44 taxons (fig. 32a) et 3361 individus (fig. 32b) ont été comptés. 40 taxons appartiennent à la classe des Insectes, 2 à la Classe des Crustacés, 1 à l'Embranchement des Mollusques et 1 à la classe des Oligochètes. C'est toujours la classe des Insectes qui domine avec 95,03% de l'abondance totale de cette station.

Au niveau de la station MT6, 44 taxons également (fig. 32a) et 2177 individus (fig. 32b) ont été identifiés. Parmi ces taxons, 43 appartiennent à la classe des Insectes, la classe des Oligochètes et l'Embranchement des Mollusques comptant 1 taxon chacun. La classe des Insectes est toujours la mieux représentée avec 98,71% de l'effectif total de la station.

L'évolution de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques de l'amont à l'aval montre que le Mayo Tsanaga, après avoir traversée la station MT4, tente de recouvrer son état initial.

III.1.2.5.2.2. Macrofaune benthique globale du Mayo Kaliao

Un total de 48 familles et 5954 individus (19,27 % de l'abondance totale) ont composé la communauté de macroinvertébrés benthiques du Mayo Kaliao au cours de l'étude.

La macrofaune benthique de la station MK1 est composée de 35 taxons (fig. 33a) et 2411 individus (fig. 33b). La classe des Insectes domine cette communauté avec 32 taxons et 98,22% de l'abondance totale de cette station. L'Embranchement des Mollusques, la classe des Crustacés et la classe des Oligochètes sont représentés chacun par 1 taxon.

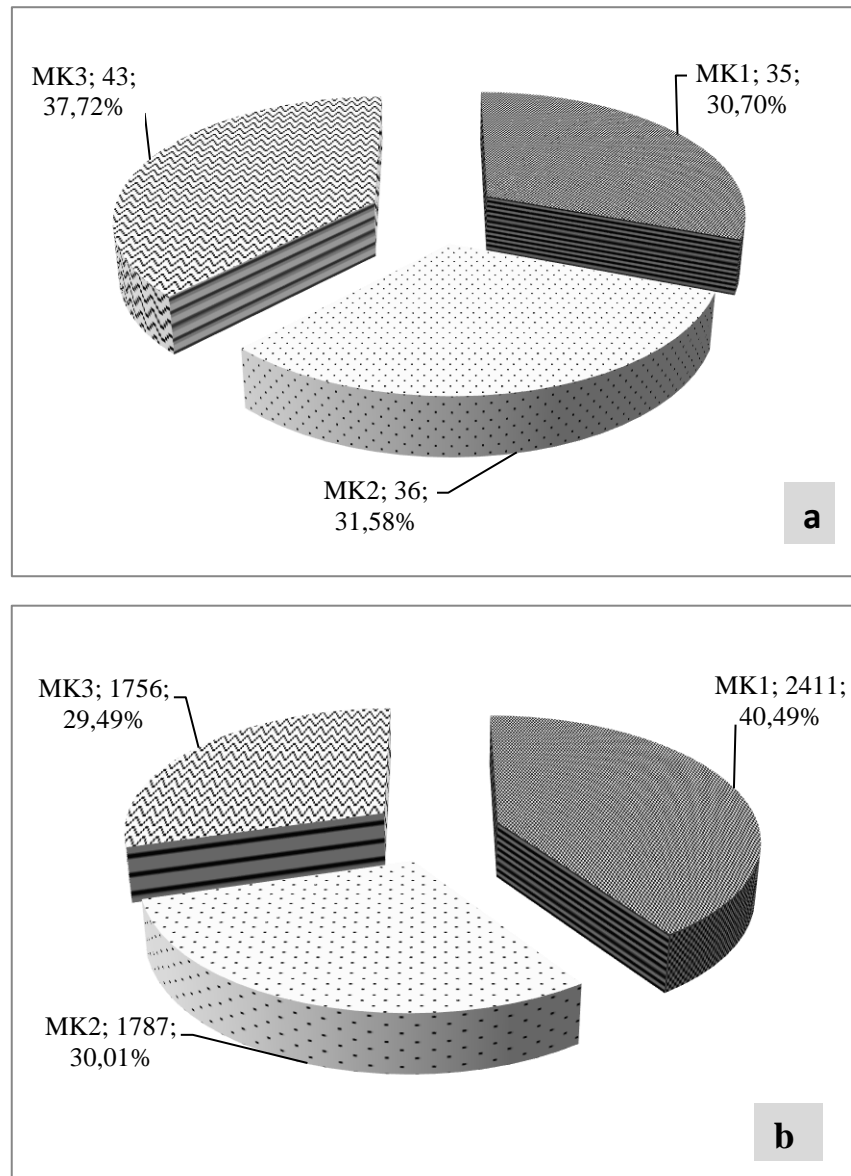


Figure 33 : Variation de la richesse taxonomique (a) et de l'abondance taxonomique (b) le long du Mayo Kaliao.

A la station MK2, 36 taxons (fig. 33a) et 1787 individus (fig. 33b) ont été dénombrés. La classe des Insectes est la plus prépondérante avec 34 taxons et 96,75% de l'effectif total de la station. Les 2 autres taxons identifiés à la station MK2 sont les Mollusques et les Oligochètes.

A la station MK3, 43 taxons (fig. 33a) et 1756 individus (fig. 33b) ont été comptés. C'est toujours la classe des Insectes qui est la mieux représentée avec 41 taxons et 98,41% de l'effectif total de la station. L'Embranchement des Mollusques et la classe des Oligochètes sont représentés chacun(e) par 1 taxon.

Dans le Mayo Kaliao, la richesse taxinomique s'est accrue de l'amont vers l'aval pendant que l'abondance taxonomique diminuait sur le même tronçon.

Les tests de Mann-Whitney appliqués d'une part entre les différentes rivières et d'autre part entre les différentes stations de chaque cours d'eau ont révélé qu'il existe une différence significative entre le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao ($p = 0,04$) au seuil de significativité 5%.

Tableau X : Valeurs des probabilités du test de Mann-Whitney appliqué entre les stations du Mayo Tsanaga

	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6
MT1	1	0,592	0,597	< 0,0001	0,322	0,992
MT2		1	0,891	< 0,0001	0,066	0,457
MT3			1	< 0,0001	0,024	0,459
MT4				1	< 0,0001	< 0,0001
MT5					1	0,678
MT6						1

En ce qui concerne le Mayo Tsanaga, une différence hautement significative a été signalée ($p < 0,0001$) entre la station MT4 du Mayo Tsanaga et les 5 autres stations (Tab. IX) au seuil de significativité 5 %. Aucune différence significative n'a été signifiée entre les stations du Mayo Kaliao (Tab. X).

Tableau XI : Valeurs des probabilités du test de Mann-Whitney appliqué entre les stations du Mayo Kaliao

	MK1	MK2	MK3
MK1	1	0,204	0,82
MK2		1	0,823
MK3			1

III.1.2.5.3. Composition taxinomique globale par taxon

La liste de tous les taxons de macroinvertébrés benthiques échantillonnés dans les 2 cours d'eau étudiés a été établie (Tab. XII). Les insectes ont été les mieux représentés avec 7 ordres et 50 familles dont 86 genres ont été identifiés. Ils sont suivis par les Mollusques qui renferment 4 familles et les Crustacés représentés par 2 familles.

Les ordres les mieux représentés dans le peuplement global d'entomofaune en nombre de familles ont été, par ordre décroissant, les Diptères (15 familles, 19 genres), les Coléoptères (13 familles, 25 genres), les Hétéroptères (10 familles, 17 genres), les Odonates (6 familles, 15 genres) et les Ephéméroptères (4 familles, 8 genres) (fig. 32). Les ordres des Plécoptères et des Trichoptères ont été très peu diversifiés avec chacun une seule famille et un seul genre.

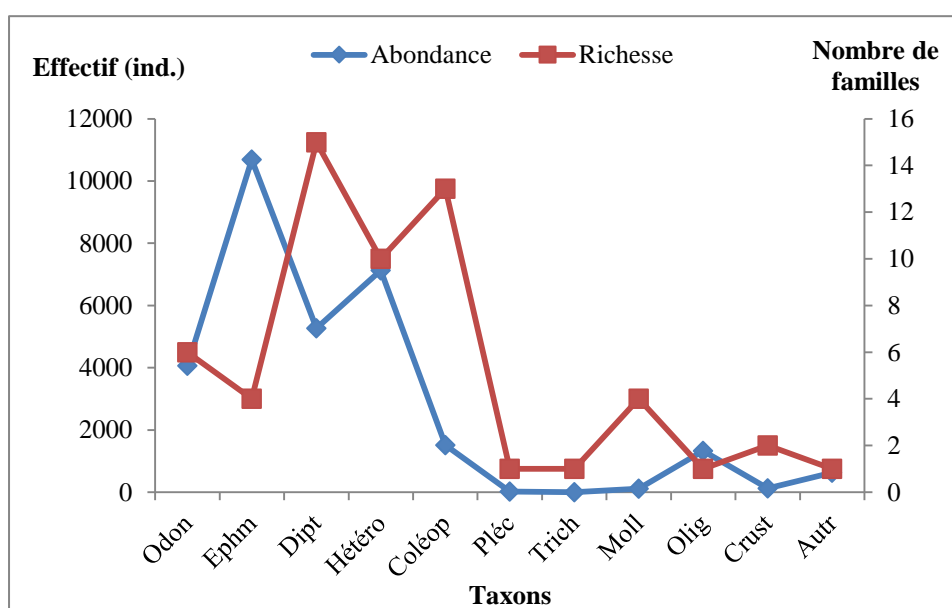


Figure 34 : Diversité et abondance taxonomiques d'invertébrés benthiques récoltés à la fois dans les 2 rivières (Odon : Odonates ; Ephm : Ephéméroptères, Hétéro : Hétéroptères ; Coléop : Coléoptères ; Pléc : Plécoptères ; Trich : Trichoptères ; Moll : Mollusques ; Olig : Oligochètes ; Crust : Crustacés ; Autr : Autres).

En revanche, les taxons les plus représentés en terme d'effectifs sont les Ephéméroptères (10687 individus ; 34,59 %) suivis par les Hétéroptères (7131 individus ; 23,08 %), les Diptères (5270 individus, 17,06 %), les Odonates (4063 individus ; 13,15 %), les Coléoptères (1515 individus ; 4,90 %) et les Oligochètes (1330 individus ; 4,31 %). Les autres groupes ont été faiblement représentés avec moins de 1000 individus et au plus 2 % de l'abondance totale (fig. 34). Les familles les mieux représentées avec plus de 77 % de

Tableau XII: Liste des taxons de macroinvertébrés benthiques identifiés dans les 2 cours d'eau d'étude

* = présence du taxon ; MT = Mayo Tsanaga ; MK = Mayo Kaliao)

Famille	Code	Genres/Espèces	MT	MK
Odonates	Odon			
Calopterygidae	Calop	<i>Calopteryx</i>	*	*
Coenagrionidae	Coen	<i>Pseudagrion</i>	*	*
		<i>Agriocermis</i>	*	*
		<i>Coenagrion</i>	*	*
		<i>Ishnura</i>	*	*
Corduliidae	Cordu	<i>Eptheca</i>	*	*
		<i>Hemicordulia olympica</i>	*	*
Gomphidae	Gomp	<i>Paragomphus gennei</i>	*	*
		<i>Crenigomphus rennei</i>	*	*
		<i>Ictinogomphus ferox</i>	*	*
		<i>Ophiogomphus</i>	*	*
		<i>Orthetrum</i>	*	*
Libellulidae	Libel	<i>Brachithermis leucostita</i>	*	
		<i>Libellula</i>	*	
Aeshnidae	Aesh	<i>Aeshna</i>	*	*
		<i>Boyeria</i>	*	
Ephéméroptères	Ephem			
Baetidae	Baet	<i>Baetis</i>	*	*
		<i>Cleon</i>	*	*
		<i>Centroptilum</i>	*	*
		<i>Pseudocentroptilum permulatum</i>	*	*
Caenidae	Caen	<i>Brachycercus</i>	*	*
Leptophlebiidae	Lepto	<i>Chloroterpes</i>	*	*
		<i>Adenophlebia</i>	*	*
		<i>Fullemimus</i>		
Oligoneuriidae	Oligh	<i>Elassoneuria</i> sp.	*	
Plécoptères	Plec			
Perlidae	Perl	<i>Neoperla</i> sp.	*	
Trichoptères	Trich			
Hydropsychidae	Hydp	<i>Hydropsyche</i>	*	
Hétéroptères	Hetero			
Corixidae	Corix	<i>Micronecta</i> sp	*	*
Gerridae	Gerri	<i>Hermatobates djiboutensis</i>	*	*
		<i>Gerris</i> sp.	*	*
Hydrometridae	Hydro	<i>Hydrometra</i> sp.	*	*
Mesoveliidae	Mveli	<i>Mesovelgia</i>	*	*
Naucoridae	Nauc	<i>Naucoris</i> sp.	*	*
Nepidae	Nepi	<i>Laccotrephes</i>	*	
		<i>Ranatra</i> sp.	*	*

		<i>Borborophilus</i>	*	*
Notonectidae	Noton	<i>Belostoma</i> sp.	*	*
		<i>Anisops</i>	*	*
		<i>Nychia</i>	*	*
Pleidae	Plei	<i>Plea</i> sp.	*	*
Saldidae	Sald	<i>Saldula</i> sp.	*	*
Veliidae	Veli	<i>Velia</i> sp.	*	*
		<i>Rhagovelia</i>	*	*
		<i>Microvelia</i>	*	*
Diptères	Dipt			
Calliphoridae	Calli		*	*
Ceratopogonidae	Cera	<i>Bezzia</i> sp.	*	*
		<i>Dasyhelea</i>	*	*
		<i>Culicoides</i>	*	*
		<i>Forcipomyia</i>	*	*
Chaoboridae	Chao	<i>Chaoborus</i>	*	
Chironomidae	Chiro	<i>Chironomus plumosus</i>	*	
		<i>Cryptochironomus</i>	*	*
		<i>Stenochironomus</i>	*	*
		<i>Pentaneura</i>	*	*
		<i>Tanytarsus</i>	*	*
		<i>Polypedium</i>	*	*
Culicidae	Culi	<i>Aedes</i>	*	*
		<i>Culex</i>	*	*
		<i>Anopheles</i>	*	*
		<i>Mimomyia</i>	*	*
Dolichopodidae	Doli		*	
Ephydriidae	Ephy		*	*
Muscidae	Musc	<i>Musca domestica</i>	*	*
Psychodidae	Psyc		*	*
Psychoteridae	Ptych	<i>Ptychoptera</i>	*	
Simuliidae	Simu	<i>Simulium</i> sp.	*	*
		<i>Paracnephia</i> sp.	*	*
Stratiomyidae	Stra		*	*
Syrphidae	Syrp		*	*
Tabanidae	Taba		*	*
Tipulidae	Tipu		*	*
Coléoptères	Coleop			
Curculiniodae	Curc		*	*
Dytiscidae	Dyti	<i>Cybister</i>	*	*
		<i>Laccophilus</i>	*	*
		<i>Bidessus</i>	*	*
		<i>Agabus nebulosus</i>	*	*
		<i>Hydrovatus</i>	*	*
		<i>Yola</i>	*	*

		<i>Copelatus erichsoni</i>	*	*
Elmidae	Elmi	<i>Normandia</i>	*	*
		<i>Potamodytes marshalli</i>	*	*
		<i>Stenelmis</i>	*	*
		<i>Pseudancyronyx</i> sp.	*	*
Gyrinidae	Gyri	<i>Aulonogyrus</i>	*	*
Haliplidae	Hali	<i>Haliplus</i>	*	*
		<i>Peltodytes</i>		
Hydraenidae	Hdra	<i>Hydraenopsis</i>	*	*
Hydrochidae	Hchi	<i>Hydrochus</i>	*	*
Hydrophilidae	Hyph	<i>Berosus</i> sp.	*	*
		<i>Berosus signaticollis</i>	*	*
		<i>Berosus niloticus</i>	*	*
		<i>Hydrobius</i>	*	*
		<i>Enochrus</i> sp.	*	*
		<i>Amphiops</i>	*	
		<i>Hydrophilus</i>	*	*
Hydroscaphigae	Hdscap		*	*
Noteridae	Noter	<i>Noterus</i>	*	*
		<i>Hydrocanthus iricolor</i>	*	*
Ptylodactylidae	Ptylo		*	
Scirtidae	Scirt		*	*
Sperchidae	Sper	<i>Spercheus cerisyi</i>	*	*
Oligochètes	Olig			
Oligochètes	Olig		*	*
Mollusques	Moll			
Hydrobiidae	Hbii		*	*
Limnaeidae	Limn		*	
Planorbidae	Planor		*	
Physidae	Phys		*	*
Crustacés	Crust			
Conchostracés	Conch		*	*
Ostracodes	Ostr		*	*
Autres	Autr			
Lépidoptères			*	*
Collemboles			*	*
Arachnides			*	*
Hydracariens			*	*
Isoptères			*	
Chilopodes			*	*
Hyménoptères			*	*
Orthoptères			*	*

l'effectif total sont les Baetidae (Ephéméroptères avec 35,97 %), les Corixidae Micronectinae (Hétéroptères avec 16,87 %), les Chironomidae (Diptères avec 9,58 %) et les Coenagrionidae (Odonates avec 6,69 %).

La quasi-totalité des taxons récoltés sont communs aux 2 rivières sauf les Plécoptères, les Trichoptères, les Ephéméroptères Oligoneuriidae, les Coléoptères Ptylodactylidae, les Diptères Psychopteridae et Dolichopodidae ainsi que les Mollusques Lymnaeidae et Planorbidae qui sont exclusifs au Mayo Tsanaga (Tab. XI).

III.1.2.5.4. Dynamique spatio-temporelle de la richesse et de l'abondance taxonomiques des principaux groupes zoologiques obtenus

III.1.2.5.4.1. Dans le Mayo Tsanaga

III.1.2.5.4.1.1. Insectes

La classe des Insectes constitue le taxon le mieux représenté dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao avec plus de 92 % de l'abondance totale et environ 91 % de la diversité totale de macroinvertébrés benthiques. Ce taxon est composé par les ordres des Odonates, des Ephéméroptères, des Hétéroptères, des Diptères, des Coléoptères, des Plécoptères et des Trichoptères. Les ordres des Odonates, des Ephéméroptères, des Hétéroptères, des Diptères et des Coléoptères ont dominé le peuplement de macroinvertébrés de ces cours d'eau par leur diversité et par leur abondance (89,47 % de la richesse totale et 92,89 % de l'abondance totale). Les ordres des Plécoptères et des Trichoptères ne sont représentés que par une seule famille chacune et moins de 0,1% de l'abondance totale.

Au total 50 familles d'insectes et 22866 individus ont été récoltés dans le Mayo Tsanaga, soit 89,29% de la diversité totale et 74,02% de l'abondance totale du Mayo Tsanaga.

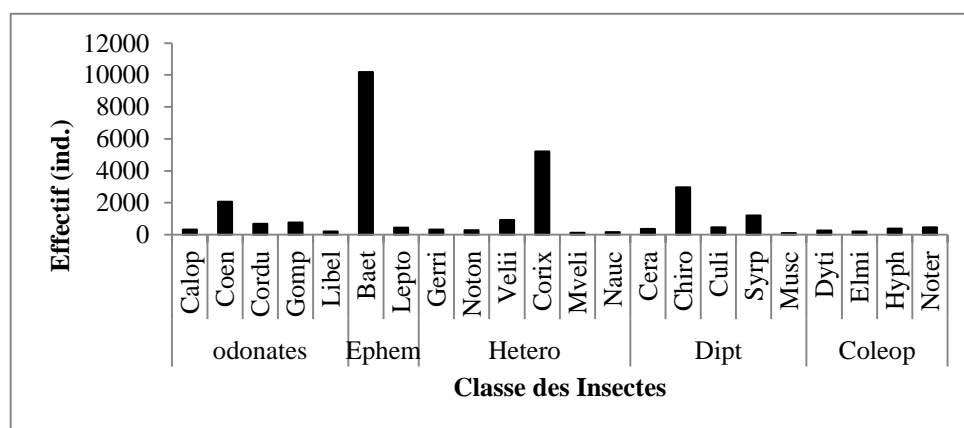


Figure 35 : Principales familles d'Insectes récoltées dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

Les familles d'insectes les plus importantes en nombre d'individus dans le Mayo Tsanaga (avec un effectif total ≥ 100 ind. au cours de l'étude) sont les Odonates Gomphidae, Coenagrionidae, Calopterygidae, Libellulidae et Corduliidae, les Ephéméroptères Baetidae et

Leptophlebiidae, les Héteroïptères Corixidae, Gerridae, Notonectidae, Veliidae, Mesoveliidae et Naucoridae, les Diptères Ceratopogonidae, Chironomidae, Culicidae, Muscidae et Syrphidae et les Coléoptères Dytiscidae, Elmidae, Hydrophilidae et Noteridae (fig. 35).

III.1.2.5.4.1.1.1. Ordre des Odonates

L'ordre des Odonates est représenté par 6 familles dont 5 dominant par leur abondance. Toutes ces principales familles d'Odonates ont été identifiées au niveau de chaque station du Mayo Tsanaga, cependant, les stations MT1, MT2 et MT3 sont plus représentatives que les stations MT4, MT5 et MT6 (fig. 36a). Les Calopterygidae qui sont absents des eaux en début

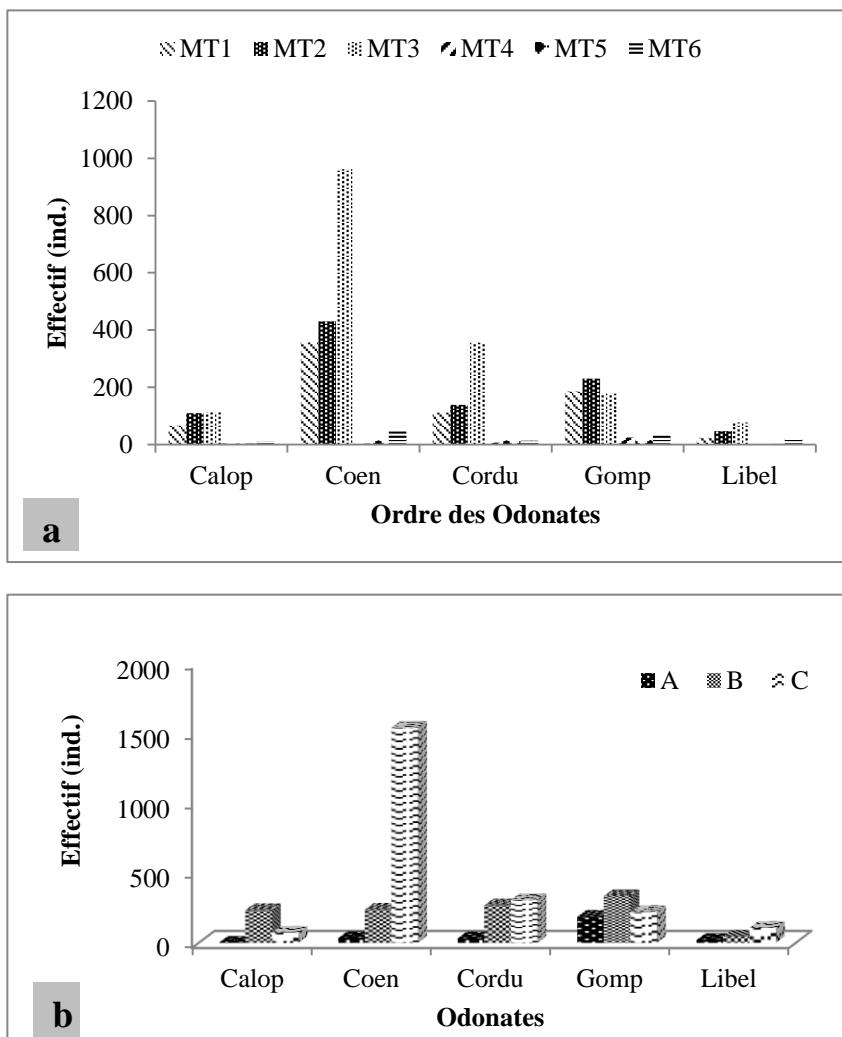


Figure 36 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Odonates dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

de permanence des eaux se présentent et atteignent leur densité maximale en mi-permanence de l'eau correspondant à la période des hautes eaux (fig. 36b). A contrario, les individus appartenant aux familles des Coenagrionidae, des Corduliidae et des Libellulidae sont présents

dans les eaux dès le début de la permanence des eaux et leur densité s'accroît progressivement pour atteindre sa valeur maximale en fin de permanence des eaux (fig. 36b). Les Gomphidae sont également présents dans les eaux dès le début de la permanence mais ils sont plus abondants au cours de la mi-permanence des eaux (fig. 36b).

III.1.2.5.4.1.1.2. Ordre des Ephéméroptères

L'ordre des Ephéméroptères est représenté par 4 familles dont 2 dominent par leurs abondances. Les individus de la famille des Baetidae ont été identifiés au niveau de chaque station du Mayo Tsanaga mais ils sont plus abondants dans les stations MT1, MT2 et MT3 où

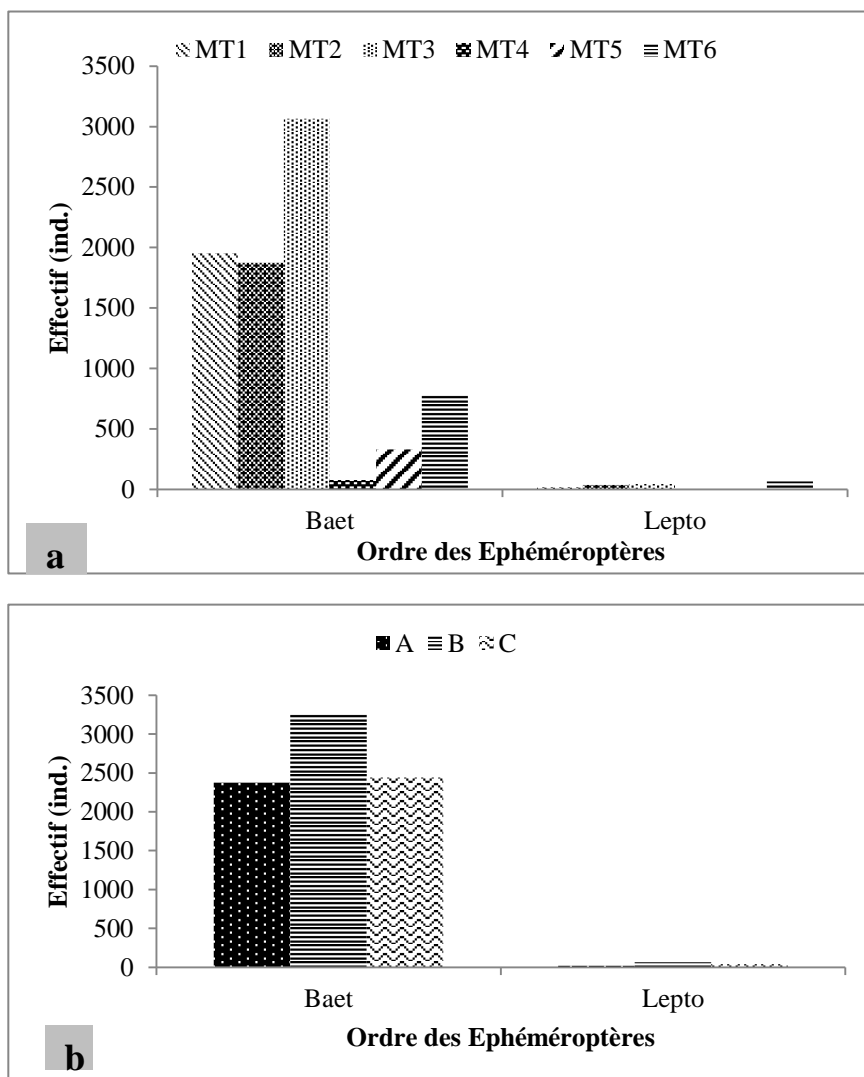


Figure 37 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Ephéméroptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

ils atteignent leur densité maximale (fig. 37a). Les individus de la famille des Leptophlebiidae, bien que très peu nombreux par rapport aux Baetidae ont été récoltés dans toutes les stations du

Mayo Tsanaga sauf à la station MT4. Leur abondance maximale a été obtenue à la station MT5. Les Baetidae et les Leptophlebiidae sont présents dans les eaux durant toute leur permanence cependant, ils atteignent leur densité maximale au cours de la mi-permanence de l'eau (fig. 37b)

III.1.2.5.4.1.1.3. Ordre des Hétéroptères

Parmi les 10 familles d'Hétéroptères identifiées au cours de l'étude, 6 familles ont été prépondérantes par leurs abondances. Ces 6 familles ont été récoltées dans toutes les stations du Mayo Tsanaga, la station MT5 étant la plus diversifiée (fig. 38a). Les Corixidae sont les plus abondants et les plus répartis le long du Mayo Tsanaga. Les Gerridae et les Notonectidae

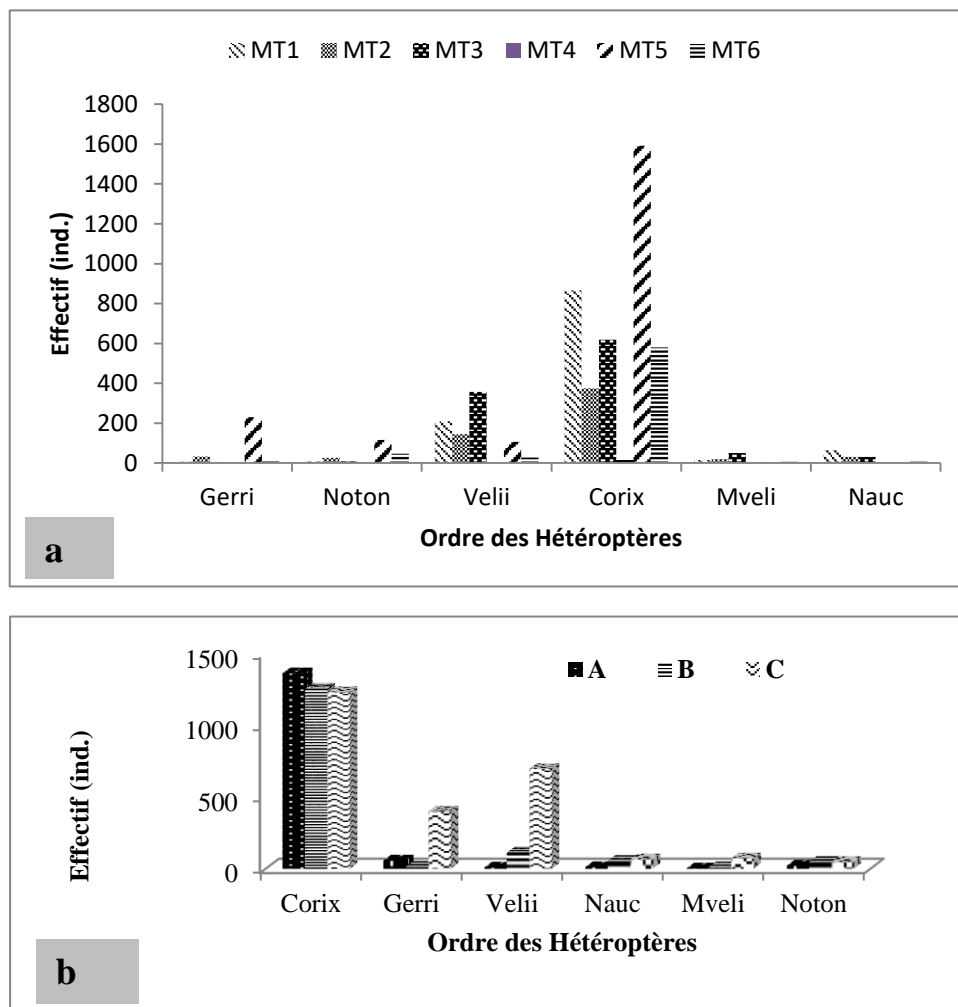


Figure 38 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Hétéroptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

sont également répartis le long de la rivière mais ils sont plus nombreux à la station MT5. Les Naucoridae, les Veliidae et les Mesoveliidae sont également distribués le long du Mayo Tsanaga, cependant leurs abondances maximales a été enregistrées aux stations MT1, MT2 et

MT3 (fig. 38a). En dehors de la famille des Corixidae dont les abondances diminuent du début à la fin de la permanence des eaux, les abondances des familles des Naucoridae, des Mesoveliidae, des Veliidae, des Gerridae et des Notonectidae augmentent pendant le même temps (fig. 38b).

III.1.2.5.4.1.1.4. Ordre des Diptères

Parmi les 15 familles de Diptères dénombrées au cours de l'étude, 5 familles dominent par leur effectif total. Les familles des Ceratopogonidae, des Culicidae et des Muscidae ont été identifiées dans toutes les stations sauf à la station MT4 où le peuplement de macroinvertébrés benthiques est réduit pratiquement à la seule famille des Syrphidae (fig. 39a). Les Chironomidae, ont été présents dans toutes les stations, leurs fortes abondances avec

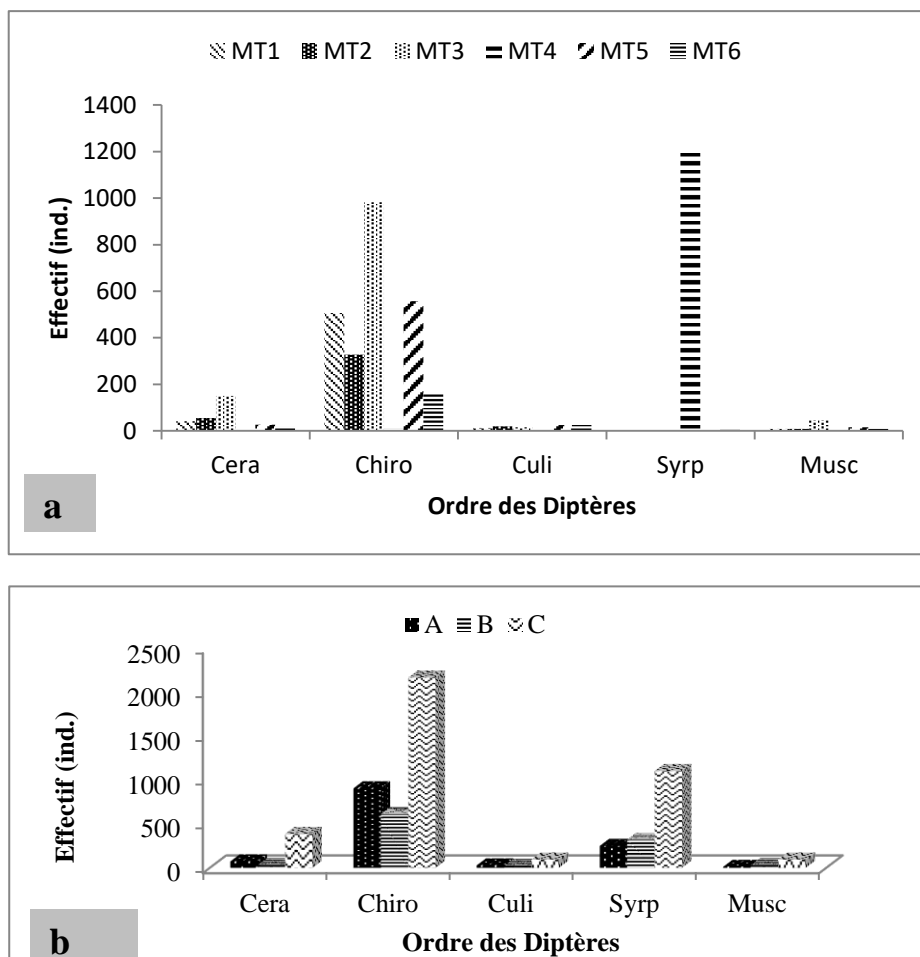


Figure 39: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles des Diptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

celles des Muscidae et des Ceratopogonidae étant obtenues à la station MT3 (fig. 39a). Les effectifs des familles des Culicidae, des Ceratopogonidae, des Muscidae et des Syrphidae ont

augmentés du début à la fin de la permanence des eaux. Ceux des Chironomidae ont d'abord diminué entre le début et la mi-permanence des eaux avant d'augmenter en fin de permanence de l'eau (fig. 39b).

III.1.2.5.4.1.1.5. Ordre des Coléoptères

Des 13 familles de Coléoptères identifiées dans le Mayo Tsanaga, 4 familles ont été les mieux représentées par leurs abondances. Seule la station MT4 n'a pas été colonisée par les individus de cet ordre. Les effectifs les plus élevés des Dytiscidae ont été obtenus à la station MT5, ceux des Hydrophilidae à la station MT3 et ceux des Noteridae aux stations MT2 et MT6. L'abondance des Elmidae est quasi équitable entre les stations MT1, MT2, MT3 et MT6 (fig. 40a). En ce qui concerne la variation temporelle, les abondances des familles des

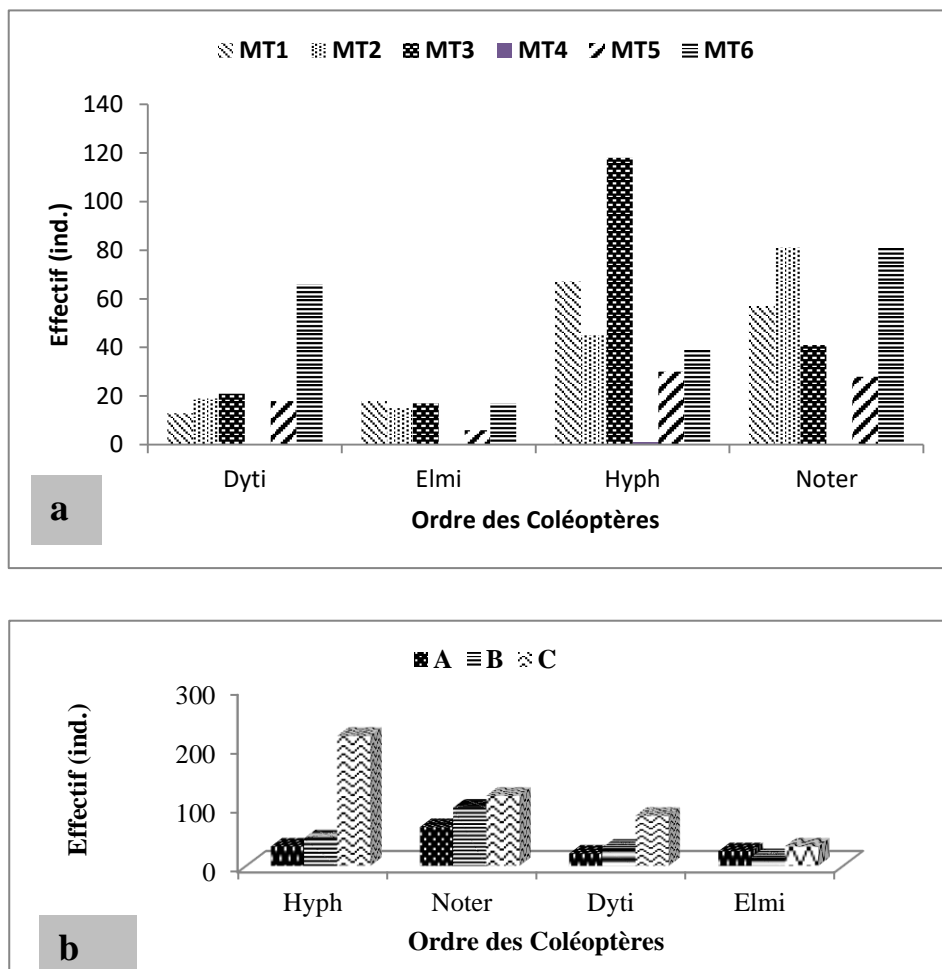


Figure 40: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Coléoptères dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

Noteridae, des Hydrophilidae et des Dytiscidae ont augmentée graduellement du début à la fin de la permanence des eaux alors que celles des Elmidae ont connu une baisse à la mi-permanence avant de s'augmenter en fin de permanence (fig. 40b)

III.1.2.5.4.1.2. Mollusques

La malacofaune du Mayo Tsanaga a été représentée par 4 familles et 106 individus, soit 7,14% de la diversité totale et 0,34% de l'abondance totale. Les mollusques ont été récoltés uniquement dans les stations MT1, MT2, MT3 et MT6 (fig. 41a). La famille des Physidae a été la plus distribuée dans le Mayo Tsanaga, sa forte abondance étant obtenue à la station MT3 qui est en même temps la station la plus diversifiée en mollusques. La famille des Hydrobiidae a été identifiée au niveau des stations MT1 et MT3, la famille des Lymnaeidae

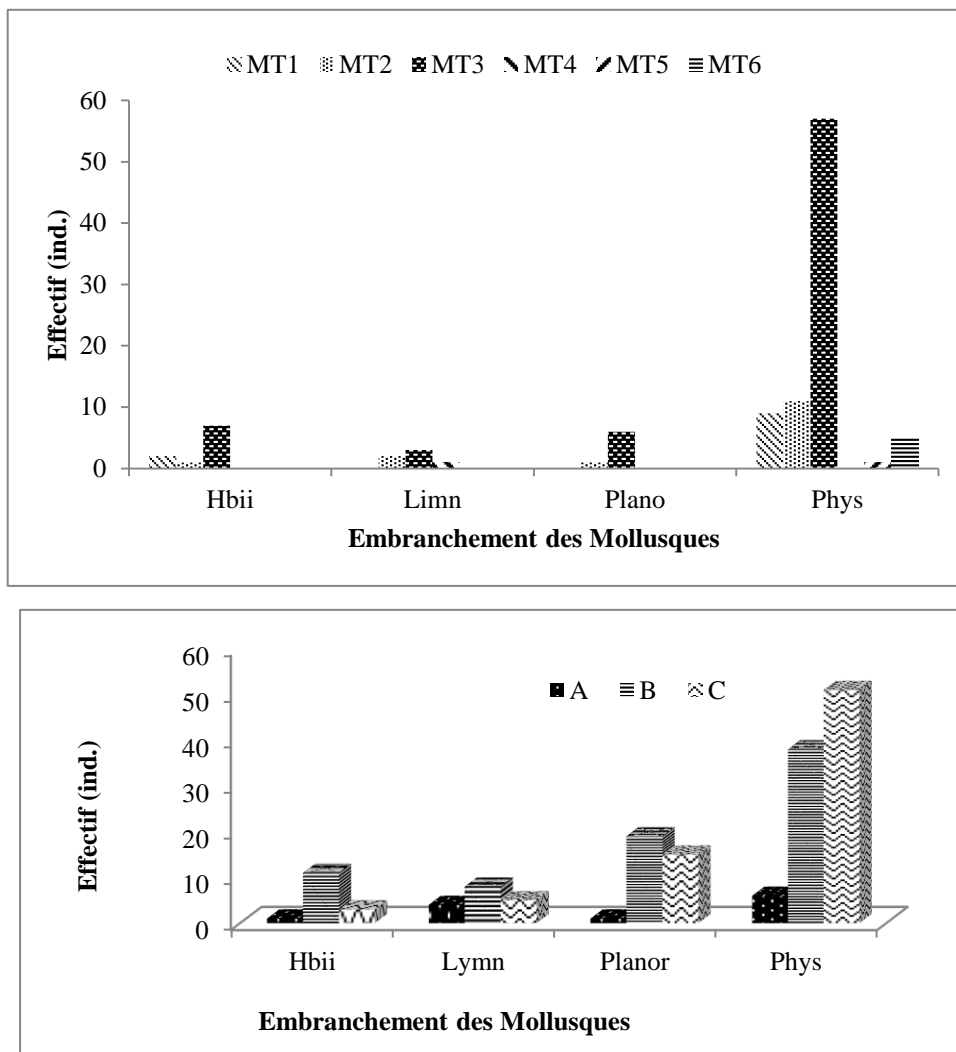


Figure 41: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de l'Embranchement des Mollusques dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

aux stations MT2 et MT3 et la famille des Planorbidae uniquement à la station MT3 (fig. 41a). En dehors de la famille des Physidae dont les abondances augmentent du début à la fin de la permanence des eaux, les plus fortes abondances des familles des Hydrobiidae, des Planorbidae et des Lymnaeidae sont atteintes à la mi-permanence des eaux (fig. 41b).

III.1.2.5.4.1.3. Crustacés

La classe des Crustacés a été représentée par 2 taxons et 124 individus dans le Mayo Tsanaga, soit 3,57% de la richesse totale et 0,40% de l'abondance totale. Parmi les 2 taxons, les Ostracodes ont été identifiés au niveau des stations MT1, MT2, MT3 et MT5 alors que les Conchostracés ont été identifiés à la station MT5 uniquement (fig. 42a). La forte abondance des Ostracodes a été enregistrée à la station MT3. Ce taxon a été récolté dans les eaux du Mayo Tsanaga uniquement en début et en la fin de permanence correspondant à la période des basses eaux (fig. 42b).

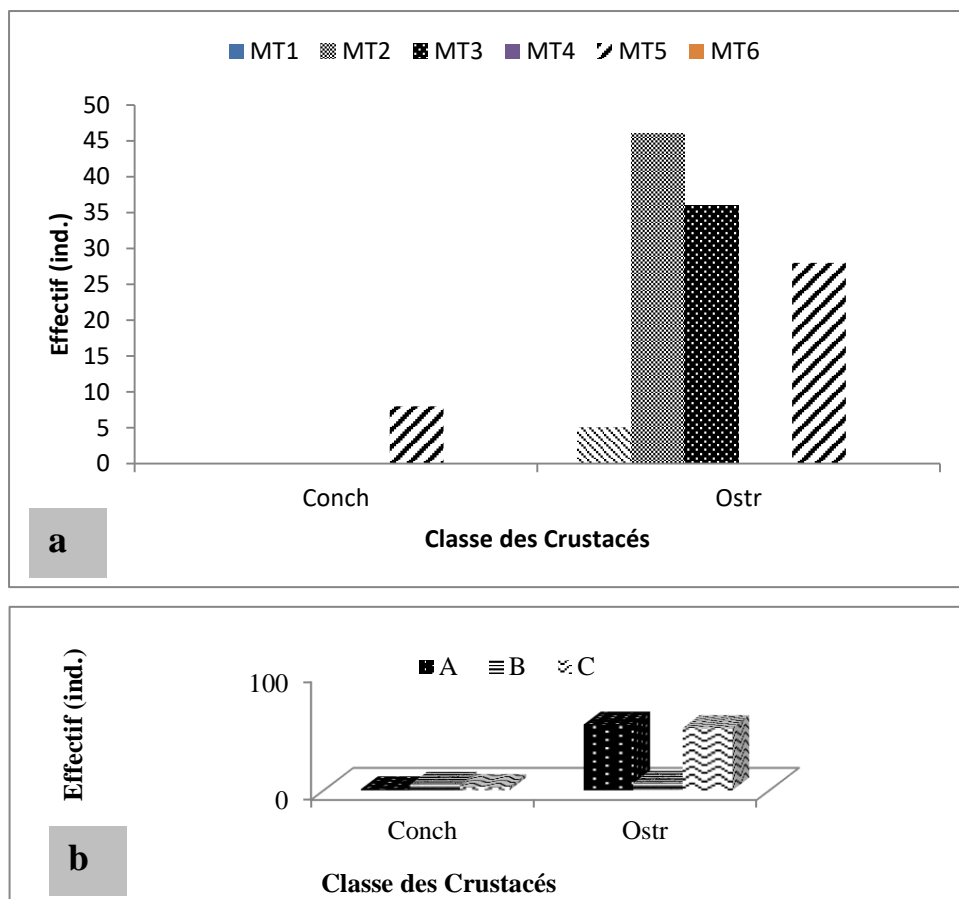


Figure 42: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances de la classe des Crustacés dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.1.4. Oligochètes

La classe des Oligochètes constitue, après la classe des Insectes, le second taxon le plus abondant de la macrofaune benthique des cours d'eau étudiés avec 1330 individus, soit 4,31% de l'effectif total. Ce taxon a été absent de la station de la station MT4. Sa plus forte abondance a été obtenue à la station MT3 (fig. 43a). Son effectif diminue progressivement du début à la fin de la permanence des eaux (fig. 43b).

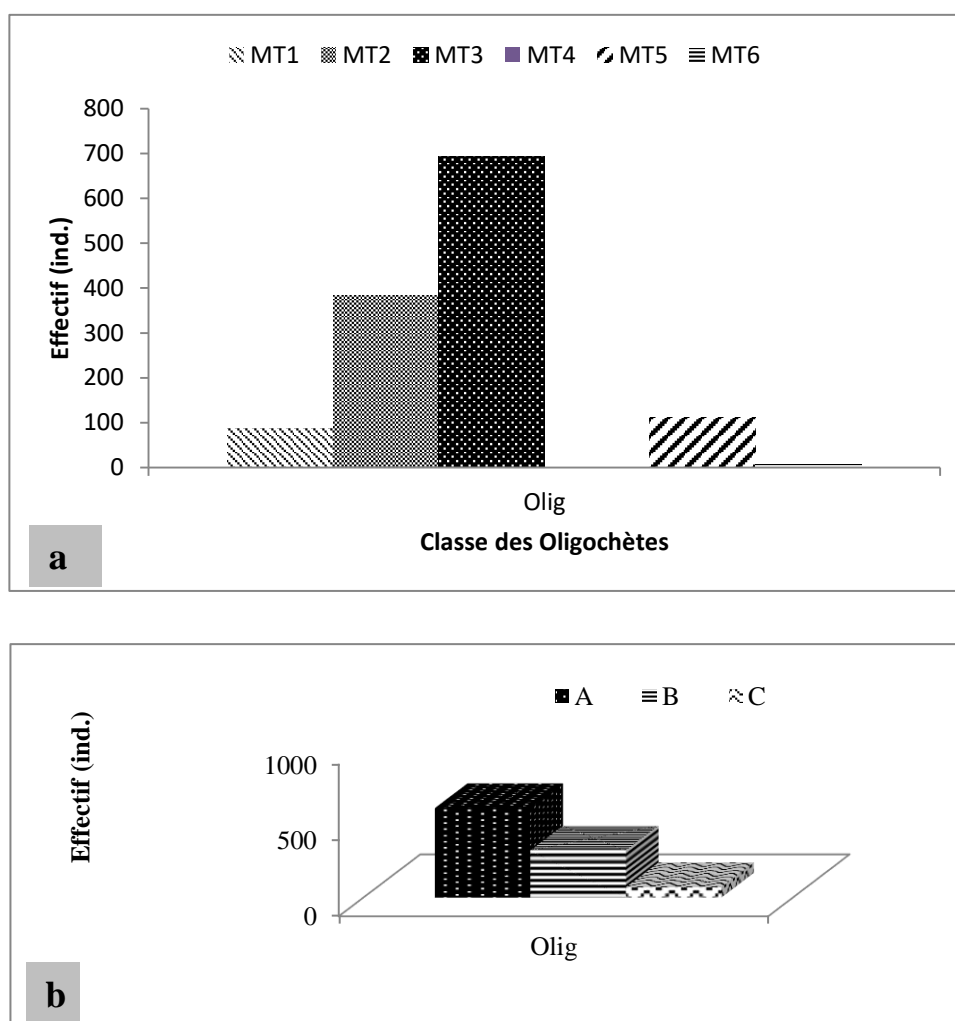


Figure 43 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances de la classe des Oligochètes dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2. Dans le Mayo Kaliao

III.1.2.5.4.2.1 Insectes

La classe des Insectes dans le Mayo Kaliao est composée par les ordres des Odonates, des Ephéméroptères, des Hémiptères, des Diptères et des Coléoptères. Les ordres des Plécoptères et des Trichoptères n'ont pas été identifiés dans ce cours d'eau.

La classe des Insectes est représentée par 43 familles et 5825 individus dans le Mayo Kaliao, soit 89,58% de la richesse totale et 97,83% de l'abondance totale ce cours d'eau. Les familles d'insectes les plus importantes en nombre d'individus dans le Mayo Kaliao (avec un effectif total ≥ 20 ind. au cours de l'étude) sont les Odonates Gomphidae, Coenagrionidae, Calopterygidae, Libellulidae et Corduliidae, les Ephéméroptères Baetidae et Leptophlebiidae, les Hétéroptères Corixidae, Gerridae, Notonectidae, Veliidae, Mesoveliidae et Naucoridae, les Diptères Ceratopogonidae, Chironomidae, Culicidae et Simuliidae et les Coléoptères Dytiscidae, Elmidae, Hydraenidae, Hydrophilidae et Noteridae (fig. 44).

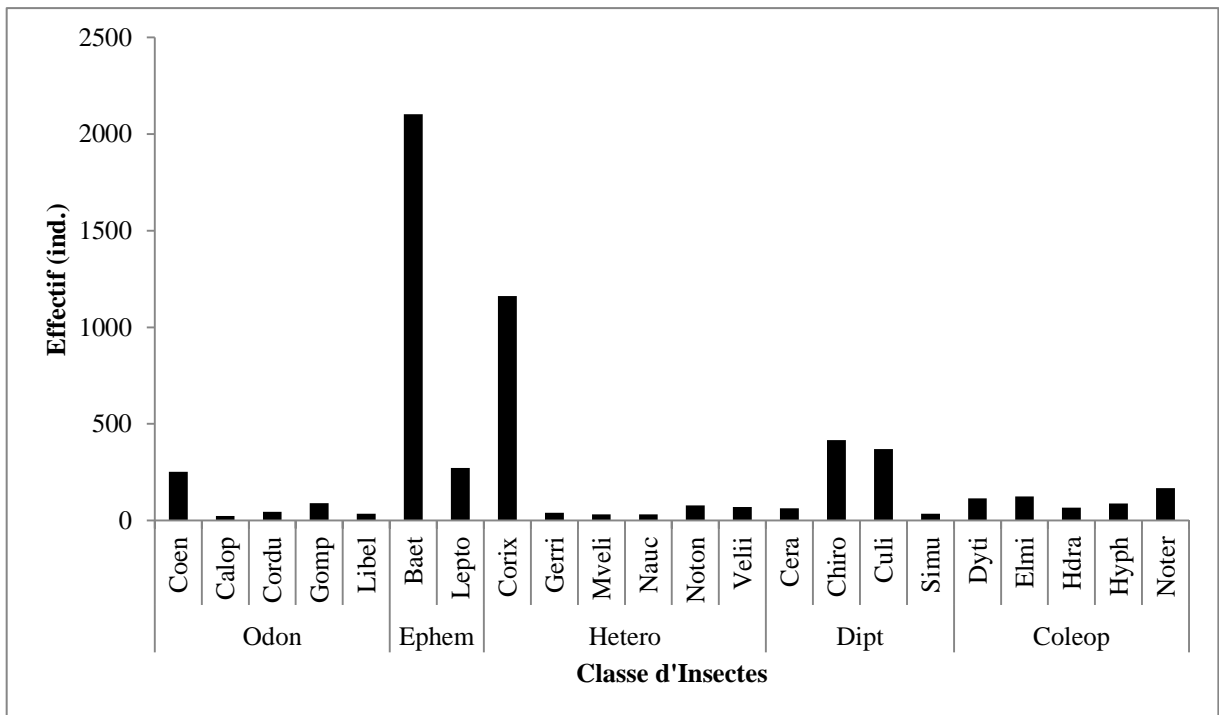


Figure 44 : Principales familles d'insectes récoltées dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.1.1. Ordre des Odonates

L'ordre des Odonates est représenté par 6 familles dont 5 sont mieux représentées par leur abondance dans le Mayo Kaliao. Toutes ces principales familles d'Odonates ont été identifiées au niveau de chaque station de cette rivière (fig. 45a). La dynamique temporelle de tous les Odonates dans le Mayo Kaliao (fig. 45b) est semblable à celle du Mayo Tsanaga, mais avec des effectifs réduits.

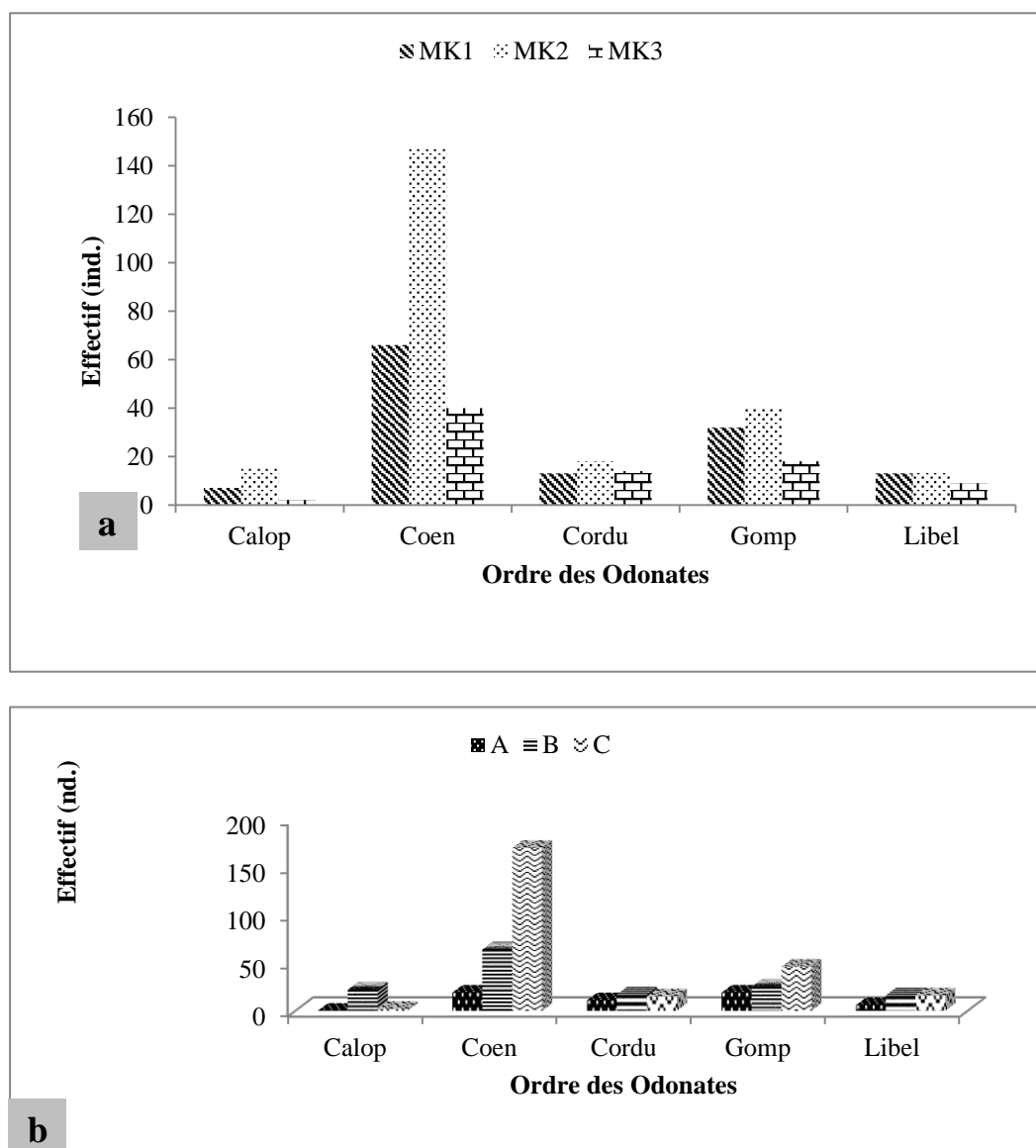


Figure 45: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Odonates dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.1.2. Ordre des Ephéméroptères

Des 3 familles d'Ephéméroptères identifiées dans la Mayo Kaliao, 2 familles ont dominé par leur abondance. Ces 2 familles ont été représentées au niveau de chaque station (fig. 46a). Les Baetidae et les Leptophlebiidae sont présents dans les eaux dès le début de la permanence des eaux mais leur plus forte abondance est obtenue à la mi-permanence des eaux comme dans le Mayo Tsanaga (fig. 46b).

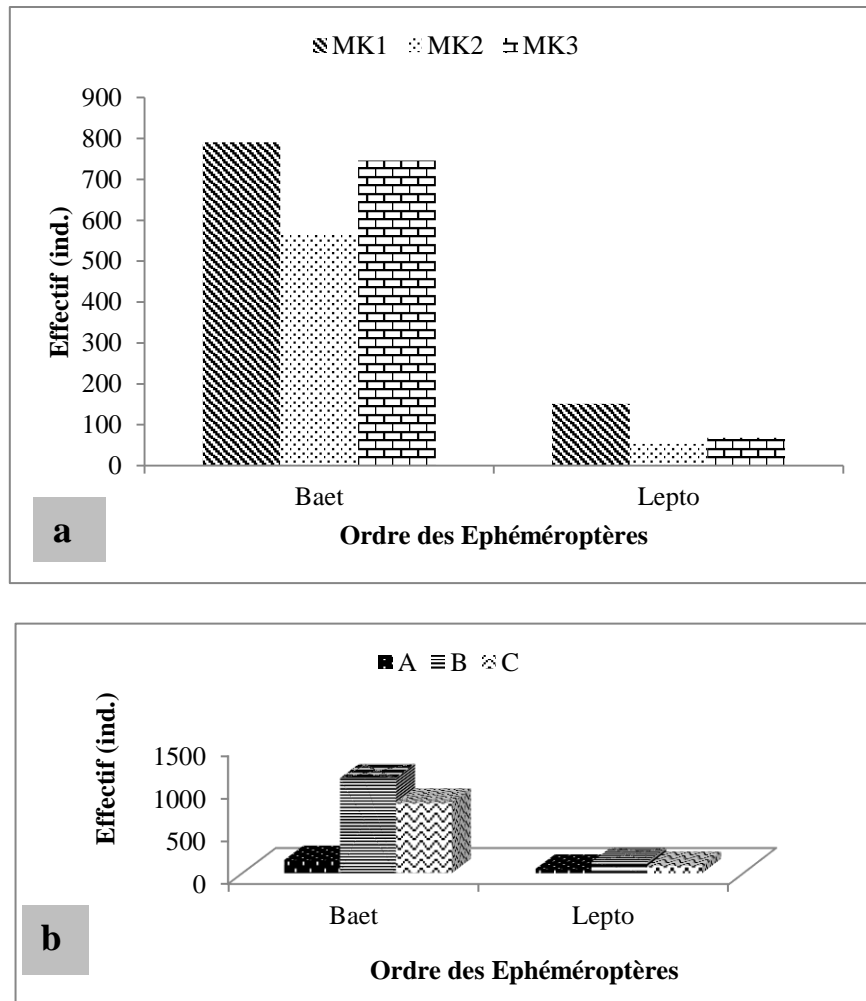


Figure 46: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Ephéméroptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.1.3. Ordre des Hétéroptères

Sur les 10 familles d'Hétéroptères identifiées dans le Mayo Kaliao, 6 ont dominé par leur abondance. Toutes ces principales familles ont été représentées dans toutes les stations de ce cours d'eau (fig. 47a). Alors que dans le Mayo Tsanaga l'effectif des Corixidae diminuent au fil du temps et que celui des Naucoridae augmente pendant le même temps, leurs plus fortes abondances dans le Mayo Kaliao ont été enregistrées au cours de la mi-permanence (fig. 47b). Le profil temporel des abondances des Veliidae, des Mesoveliidae, des Gerridae et des Notonectidae a été semblable à leur profil temporel dans le Mayo Tsanaga (fig. 47b).

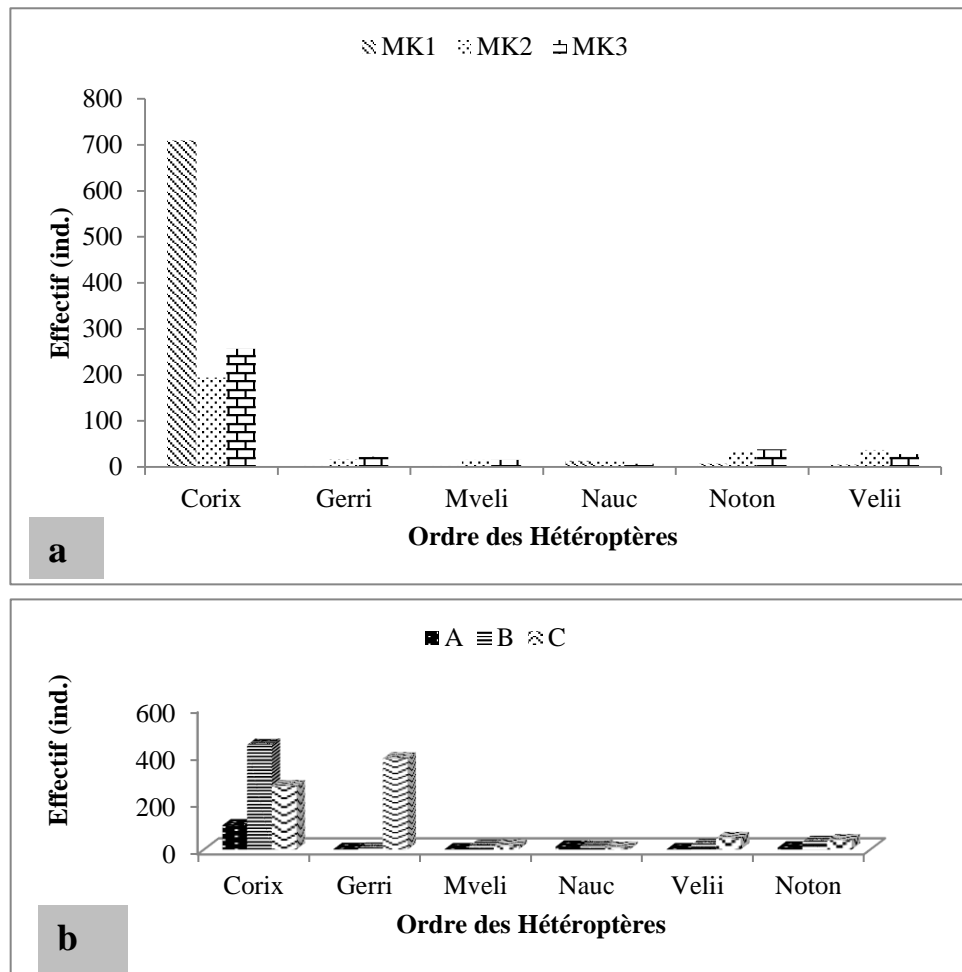


Figure 47: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles d'Hétéroptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.1.4. Ordre des Diptères

13 familles de Diptères ont été récoltées dans le Mayo Kaliao dont 5 familles ont été prépondérantes compte tenu de leurs abondances. Parmi elles, la famille des Muscidae a été récoltée uniquement au niveau de la station MK3 et les 4 autres ont été identifiées au niveau de chaque station d'étude (fig. 48a). Contrairement au Mayo Tsanaga où les effectifs des Chironomidae ont d'abord diminué entre le début et la mi-permanence des eaux avant d'augmenter en fin de permanence de l'eau, dans le Mayo Kaliao leurs effectifs ont augmenté progressivement du début à la fin de la permanence des eaux (fig. 48b). Les effectifs des Ceratopogonidae et des Culicidae qui ont augmenté progressivement au cours de la permanence des eaux du Mayo Tsanaga ont été plus élevés au cours de la mi-permanence des eaux dans le Mayo Kaliao (fig. 48b). Les Simuliidae ont été plus nombreux au cours de la mi-permanence des eaux et les Muscidae l'ont été en fin de permanence des eaux.

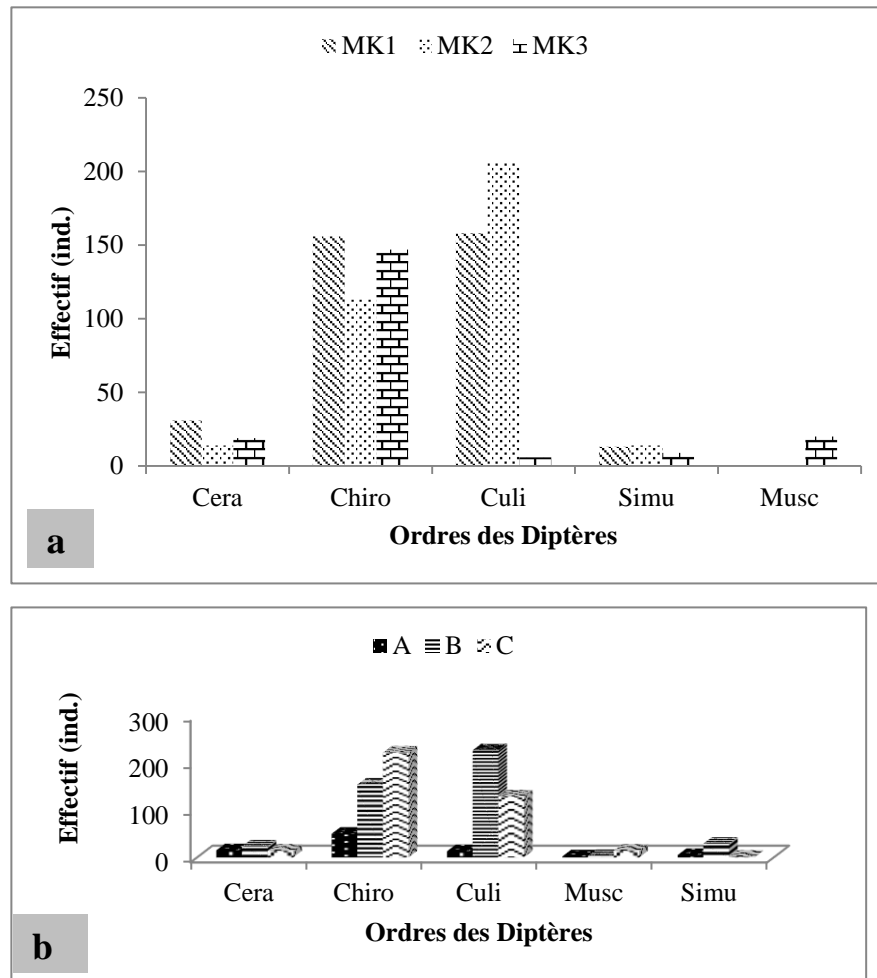


Figure 48 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Diptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.1.5. Ordre des Coléoptères

Les Coléoptères du Mayo Kaliao ont été représentés par 11 familles dont 5 ont été les plus abondantes. Ces 5 familles ont été récoltées dans toutes les stations d'étude (fig. 49a). En dehors des Noteridae dont leur forte abondance a été enregistrée en mi-permanence des eaux, les effectifs des Dysticidae, des Elmidae, des Hydraenidae et des Hydrophilidae du Mayo Kaliao se sont accrus du début à la fin de la permanence des eaux comme dans le Mayo Tsanaga (fig. 49b).

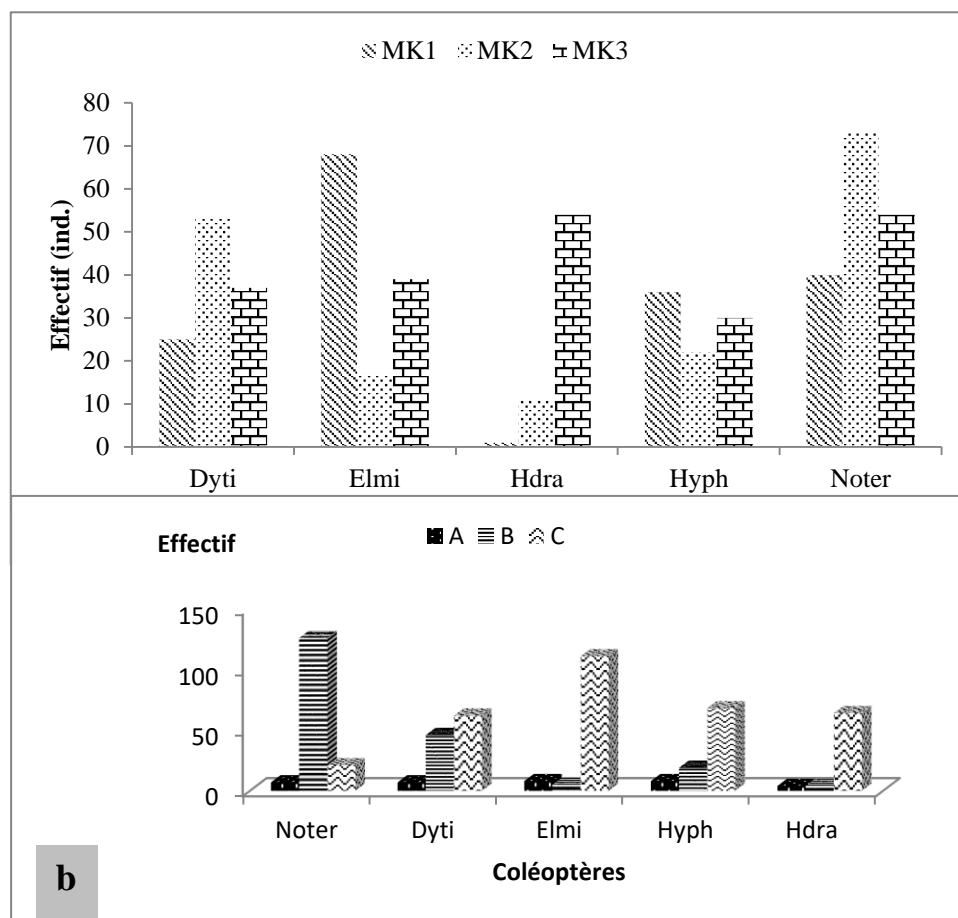


Figure 49 : Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des principales familles de Coléoptères dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

III.1.2.5.4.2.2. Mollusques

L'embranchement des Mollusques a été représenté par 2 familles (famille des Physidae et famille des Hydrobiidae) et 9 individus dans le Mayo Kaliao. La famille des Hydrobiidae représenté par 1 individu a été identifiée seulement à la station MK3 en début de la permanence des eaux. La famille des Physidae a été identifiée au niveau des stations MK1 et MK2 avec 4 individus chacune en fin de permanence des eaux.

III.1.2.5.4.2.3. Crustacés

La classe des Crustacés a été représentée par une famille, les Conchostracés, et 1 seul individu dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude. Cet individu a été récolté à la station MK1 à la mi-permanence des eaux.

III.1.2.5.4.2.4. Oligochètes

Dans le Mayo Kaliao, la classe des Oligochètes a été représentée par 43 individus. Les stations MK1 et MK2 ont rassemblé 15 individus chacune pendant que la station MK3 a rassemblé 13 individus (fig. 50a). Les abondances des Oligochètes diminuent progressivement du début à la fin de la permanence des eaux (fig. 50b).

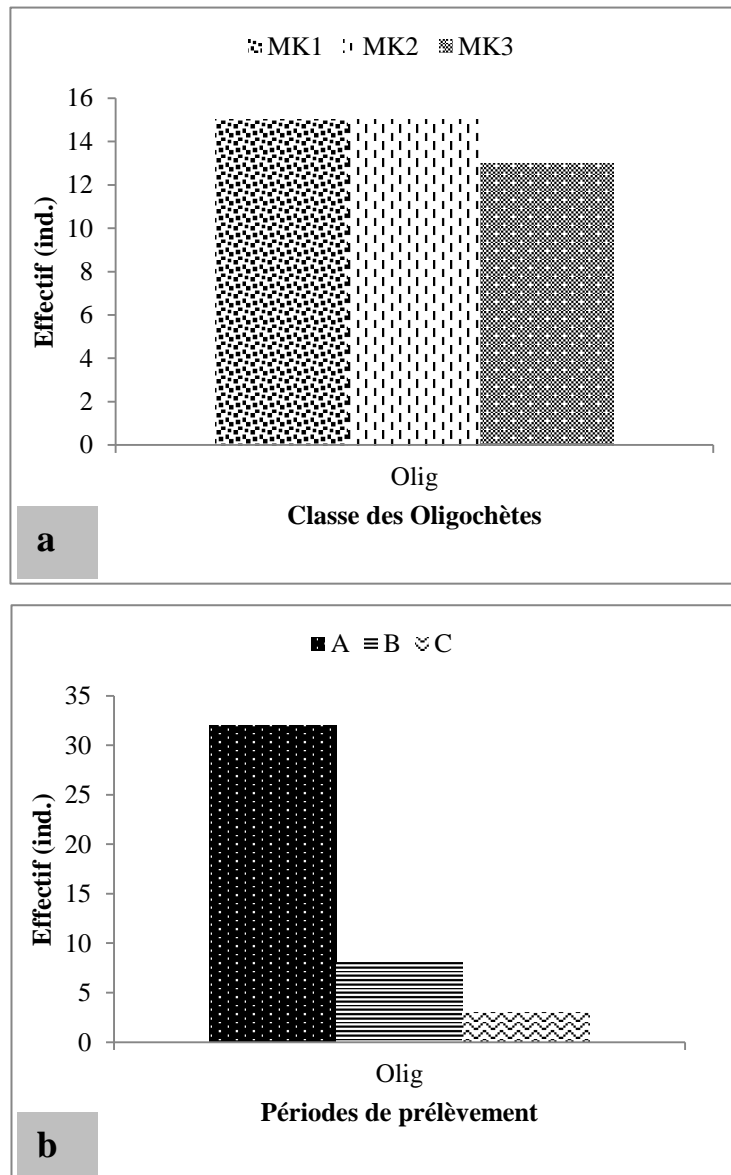


Figure 50: Variation spatiale (a) et temporelle (b) des abondances des Oligochètes dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude.

D'une manière générale, la période la plus productive dans les deux cours d'eau en terme de densité des individus a été la fin de la permanence (11587 individus dans le Mayo Tsanaga et 2690 individus dans le Mayo Kaliao), suivie de la mi-permanence (7426 individus dans le

Mayo Tsanaga et 2616 individus dans le Mayo Kaliao) et en fin par le début de la permanence de l'eau (6022 individus dans le Mayo Tsanaga et 648 individus dans le Mayo Kaliao). Aucune différence significative n'a été signalée entre les abondances des trois périodes de l'écoulement des eaux dans le Mayo Tsanaga ($p = 0,093$) et dans le Mayo Kaliao ($p = 0,550$) au seuil de significativité 5%.

En ce qui concerne la richesse taxonomique, la mi-permanence de l'eau a été la période la plus productive dans le Mayo Tsanaga avec 52 taxa, suivie de la fin de la permanence de l'eau avec 51 taxa et en fin du début de la permanence de l'eau avec 47 taxa. Dans le Mayo Kaliao, la richesse taxonomique s'est abaissée du début à la fin de la permanence de l'eau avec respectivement 41, 37 et 35 taxa. Il n'existe aucune différence significative entre la richesse taxonomique des trois périodes dans le Mayo Tsanaga ($p = 0,958$) et dans le Mayo Kaliao ($p = 0,860$) au seuil de significativité de 5%.

III.1.2.5.5. Occurrence des taxons

III.1.2.5.5.1 Dans le Mayo Tsanaga

La fréquence d'occurrence des différents taxons de macroinvertébrés benthiques dans le Mayo Tsanaga a permis de discriminer trois groupes de taxons : constants, accessoires et accidentels.

Les taxons constants sont ceux dont les fréquences d'occurrence sont supérieures ou égales à 50% (% occurrence $\geq 50\%$). Ce groupe dans le Mayo Tsanaga est constitué par 28 taxons (Tab.XIII). Il s'agit des taxons qui ont été identifiés dans au moins 4 stations d'étude et qui ont été plus ou moins abondants. Parmi eux 10 taxons ont été omniprésents c'est-à-dire que leur pourcentage d'occurrence a été égal à 100 % (Dajoz, 2000). Ce sont les Coenagrionidae, les Corduliidae, les Gomphidae, les Baetidae, les Corixidae, les Naucoridae, les Ceratopogonidae, les Chironomidae, les Noteridae et les Oligochètes.

Les taxons accidentels sont ceux dont les fréquences d'occurrence ont été comprises entre 25 et 50% ($25 \leq \% \text{ occurrence} < 50\%$). Ce groupe est formé par 17 taxons (Tab.XIII). Ce sont des taxons représentés dans au plus 3 stations et qui ont été peu abondants.

Les taxons accessoires ont une fréquence d'occurrence inférieure à 25% (% occurrence $< 25\%$). Ce groupe est formé par 12 taxons (Tab.XII). Il s'agit également des taxons représentés dans au plus 3 stations et qui ont été très peu abondants.

Tableau XIII : Fréquence d'occurrence des taxons identifiés dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude

Mayo Tsanaga					
Taxons	Code	Fréquence (%)	Taxons	Code	Fréquence (%)
Odonates			Ephydriidae	Ephy	41,2**
Calopterygidae	Calop	70,6***	Muscidae	Musc	64,7***
Coenagrionidae	Coen	100***	Psychodidae	Psyc	23,5*
Corduliidae	Cordu	100***	Psychoteridae	Ptych	11,8*
Gomphidae	Gomp	100***	Simuliidae	Simu	41,2**
Libellulidae	Libel	82,4***	Stratiomyidae	Stra	47,1**
Aeshnidae	Aesh	23,5*	Syrphidae	Syrp	82,4***
Ephéméroptères			Tabanidae	Taba	47,1**
Baetidae	Baet	100***	Tipulidae	Tipu	47,1**
Caenidae	Caen	76,5***	Coléoptères		
Leptophlebiidae	Lepto	94,1***	Curculinidae	Curc	35,2**
Oligoneuriidae	Olign	17,6*	Dytiscidae	Dyti	88,2***
Plécoptères			Elmidae	Elmi	88,2***
Perlidae	Perl	29,4**	Gyrinidae	Gyri	70,6***
Trichoptères			Haliplidae	Hali	41,2**
Hydropsychidae	Hydp	17,6*	Hydraenidae	Hdra	29,4**
Hétéroptères			Hydrochidae	Hchi	17,6*
Corixidae	Corix	100***	Hydrophilidae	Hyph	88,2***
Gerridae	Gerri	64,7***	Hydrosaphigae	Hdscap	11,8*
Hydrometridae	Hydro	52,9***	Noteridae	Noter	100***
Mesoveliidae	Mveli	52,9***	Ptylodactylidae	Ptylo	29,4**
Naucoridae	Nauc	100***	Scirtidae	Scirt	11,8*
Nepidae	Nepi	58,8***	Sperchidae	Sper	29,4**
Notonectidae	Noton	76,5***	Oligochètes		
Pleidae	Plei	41,2**	Oligochètes	Olig	100***
Saldidae	Sald	41,2**	Mollusques		
Veliidae	Veli	64,7***	Hydrobiidae	Hbii	17,6*
Diptères			Limnaeidae	Limn	47,1**
Calliphoridae	Calli	47,1**	Planorbidae	Plano	17,6*
Ceratopogonidae	Cera	100***	Physidae	Phys	70,6***
Chaoboridae	Chao	11,8*	Crustacés		
Chironomidae	Chiro	100***	Conchostracés	Conch	17,6*
Culicidae	Culi	70,6***	Ostracodes	Ostr	29,4**
Dolichopodidae	Doli	29,4**			

***taxons constants ; **taxons accessoires ; *taxons accidentels

III.1.2.5.5.2 Dans le Mayo Kaliao

Dans le Mayo Kaliao aussi les trois groupes de taxons sont présents. Le groupe des taxons constants, récoltés au niveau de toutes les stations retenues sur ce cours d'eau, est formé par 21

taxons (Tab. XIV). Aucun taxon omniprésent n'a été identifié dans cette rivière. Les taxons accessoires (10 taxons) et accidentels (16 taxons) ont été ceux recueillis dans au plus 2 stations et qui ont été très peu abondants (Tab. XIII).

Tableau XIV : Fréquence d'occurrence des taxons identifiés dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude

Mayo Kaliao						
Famille	Code	Fréquence (%)		Famille	Code	Fréquence (%)
Odonates				Muscidae	Musc	41,2**
Calopterygidae	Calop	29,4**		Psychodidae	Psyc	5,9*
Coenagrionidae	Coen	82,4***		Simuliidae	Simu	35,3**
Corduliidae	Cordu	76,5***		Stratiomyidae	Stra	35,3**
Gomphidae	Gomp	88,2***		Syrphidae	Syrp	5,9*
Libellulidae	Libel	76,5***		Tabanidae	Taba	17,6*
Aeshnidae	Aesh	5,9*		Tipulidae	Tipu	5,9*
Ephéméroptères				Coléoptères		
Baetidae	Baet	94,1***		Curculiniodae	Curc	5,9*
Caenidae	Caen	35,3**		Dytiscidae	Dyti	76,5***
Leptophlebiidae	Lepto	94,1***		Elmidae	Elmi	70,6***
Hétéroptères				Gyrinidae	Gyri	52,9***
Corixidae	Corix	94,1***		Halipidae	Hali	29,4**
Gerridae	Gerri	52,9***		Hydraenidae	Hdra	29,4**
Hydrometridae	Hydro	11,8*		Hydrochidae	Hchi	29,4**
Mesoveliidae	Mveli	52,9***		Hydrophilidae	Hyph	64,7***
Naucoridae	Nauc	58,8***		Hydrosaphigae	Hdscap	17,6*
Nepidae	Nepi	29,4**		Noteridae	Noter	58,8***
Notonectidae	Noton	82,4***		Scirtidae	Scirt	5,9*
Pleidae	Plei	17,6*		Sperchidae	Sper	5,9*
Saldidae	Sald	5,9*		Oligochètes		
Veliidae	Velii	64,7***		Oligochètes	Olig	70,6***
Diptères				Mollusques		
Calliphoridae	Calli	23,5*		Hydrobiidae	Hbii	5,9*
Ceratopogonidae	Cera	76,5***		Physidae	Physs	29,4**
Chironomidae	Chiro	94,1***		Crustacés		
Culicidae	Culi	82,4***		Conchostracés	Conch	5,9*
Ephydriidae	Ephy	29,4**				

***taxons constants ; **taxons accessoires ; *taxons accidentels

III.1.2.5.6. Variation annuelle de la richesse taxonomique et de l'abondance taxonomique dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao

Le nombre de taxons récoltés dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao n'a pas été égal au cours des deux années d'étude. En 2013, 51 taxons dont 14 appartenant à l'ordre des

Diptères, 10 à l'ordre des Hétéroptères, 10 à l'ordre des Coléoptères, 6 à l'ordre des Odonates, 4 à l'Embranchement des Mollusques, 3 à l'ordre des Ephéméroptères, 1 à l'ordre des Trichoptères, 1 à l'Ordre des Plécoptères, 1 à la classe des Oligochètes et 1 à la classe des Crustacés ont été dénombrés (fig. 51a).

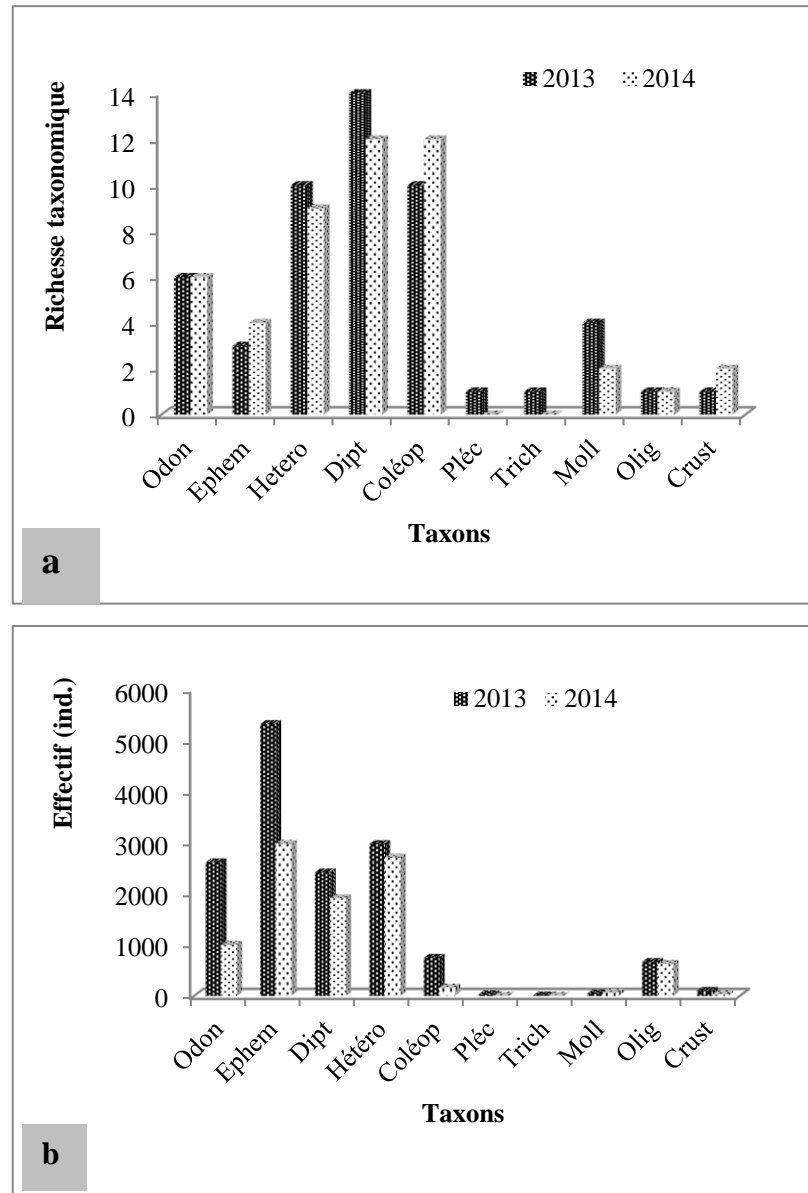


Figure 51: Variation de la richesse (a) et de l'abondance taxonomiques (b) dans le Mayo Tsanaga au cours des 2 saisons d'étude

En 2014, la richesse taxonomique a été réduite à 48 taxons. Au cours de cette année, l'ordre des Diptères a été réduit à 12 taxons, celui des Hétéroptères par 9 taxons et l'Embranchement des Mollusques à 2 taxons (fig. 51a). Par ailleurs, les ordres des Plécoptères et des Trichoptères n'ont pas été identifiés au cours de cette année d'étude. Cependant, l'ordre

des Coléoptères est passé de 10 à 12 taxons, celui des Ephéméroptères de 3 à 4 taxons et la classe des Crustacés de 1 à 2 taxons (fig. 51a). La richesse taxonomique de l'ordre des Odonates et de la classe des Oligochètes est restée inchangée entre les deux années d'étude. Aucune différence significative n'a été relevée entre les 2 années d'étude ($p > 0,001$; $\alpha = 0,05$).

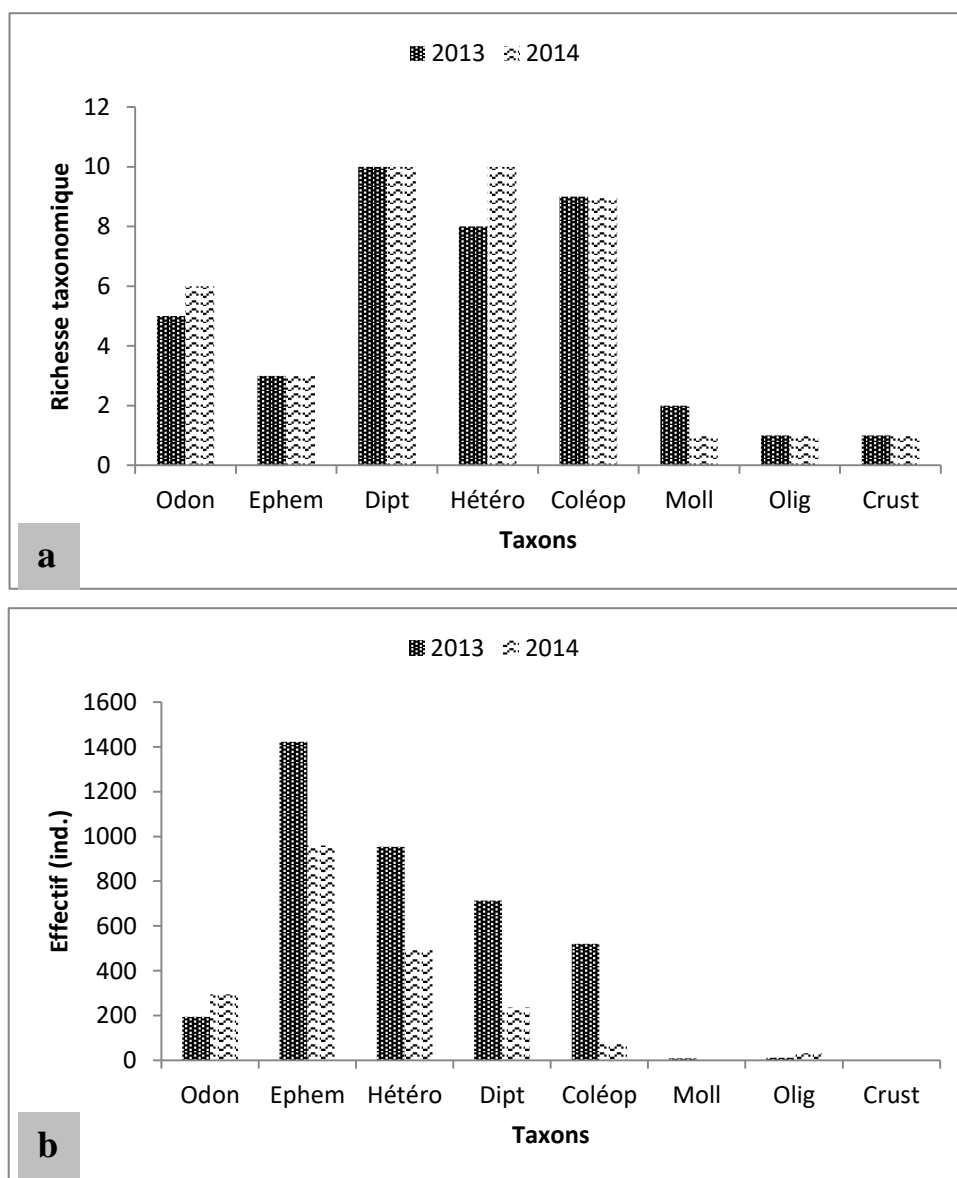


Figure 52 : Variation de la richesse (a) et de l'abondance taxonomique (a) dans le Mayo Kaliao au cours des 2 saisons d'étude

En termes d'abondance taxonomique, l'année 2013 avec 19371 individus a été plus prolifique que l'année 2014 avec 11520 individus. En dehors des Odonates dont l'abondance a augmenté entre 2013 et 2014, l'abondance de tous les autres taxons a diminué au cours de l'année 2014 (fig. 52b).

III.1.2.5.7. Mode d'alimentation des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau étudiés

D'un point de vue fonctionnel, les collecteurs-rassembleurs (c-g), les prédateurs (prd) et les racleurs (scr) ont été dans l'ordre les groupes les plus importants dans les 2 cours d'eau (fig. 53). Les collecteurs-rassembleurs sont des taxons ayant une préférence pour les fines

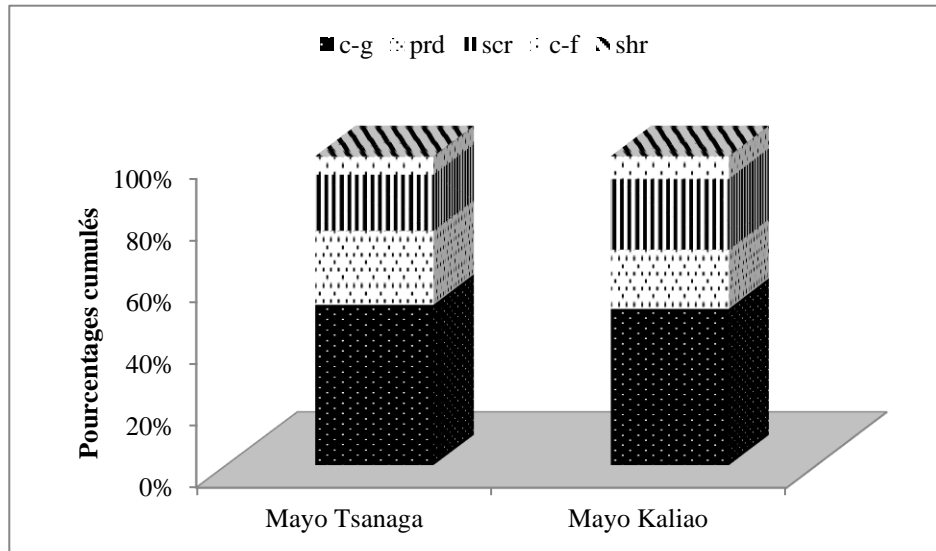


Figure 53 : Différents groupes alimentaires fonctionnels obtenus dans les cours d'eau étudiés (c-g : collecteurs-rassembleurs ; prd : prédateurs ; scr : racleurs ; shr : brouleurs).

particules de matières organiques (FPOM) présentes dans les interstices des sédiments. Les racleurs sont des taxons consommant les algues attachées aux surfaces (végétation, sable...) et les prédateurs sont les invertébrés qui capturent et consomment leurs proies vivantes.

De même, ces 3 groupes ont été les plus prépondérants à chaque période de la permanence de l'eau dans les deux cours d'eau étudiés (fig. 4a et b). Toutefois, il y a eu une recrudescence des collecteurs-filtreurs en fin de permanence dans le Mayo Tsanaga. Les collecteurs-filtreurs sont des organismes exploitant les fines particules de matières organiques en suspension dans l'eau.

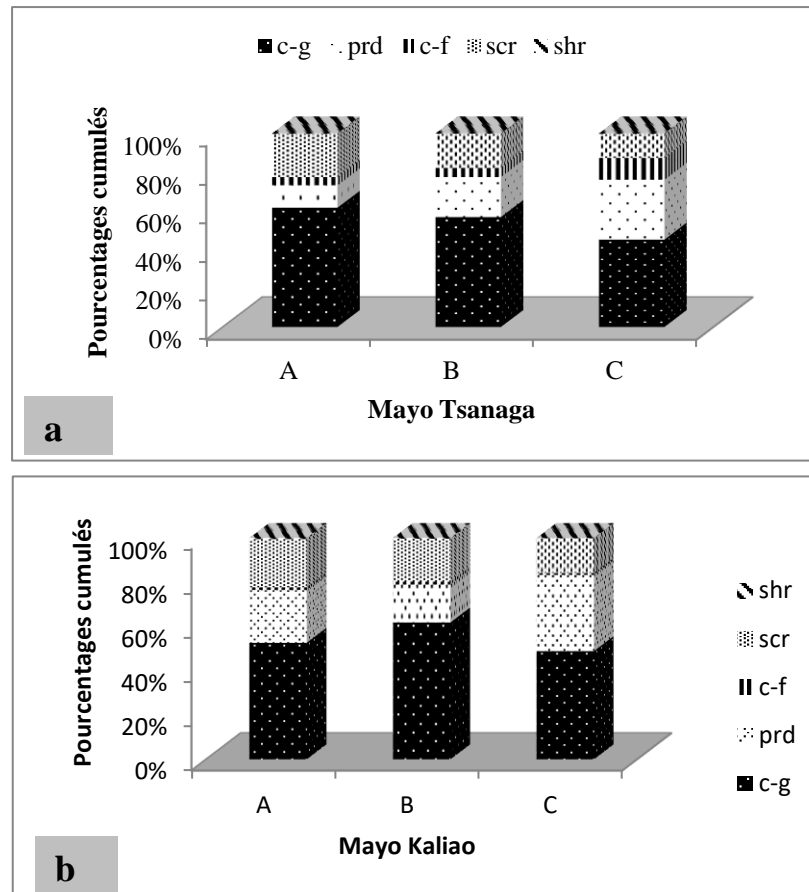


Figure 54 : Variation temporelle des groupes fonctionnels alimentaires par période de permanence de l'eau dans le Mayo Tsanaga (a) et le Mayo Kaliao (b) (c-g : collecteurs-rassembleurs ; prd : prédateurs ; scr : racleurs ; shr : brouteurs).

III.1.2.5.8. Diversité et équitabilité

Les valeurs des indices de diversité H' de Shannon-Weaver sont restées très faibles ($< 0,5$ bit) pour toutes les stations du Mayo Tsanaga au cours de l'étude. De l'amont à l'aval de cette rivière, les valeurs de H' ont varié entre 0,037 bit à la station MT3 et 0,151 bit à la station MT4 au cours de l'étude, la moyenne étant $0,084 \pm 0,037$ bit (Tab. XV). Du début à la fin de permanence des eaux, elles ont varié entre 0,030 bit en fin de permanence de l'eau et 0,064 bit en début de permanence de l'eau avec une moyenne de $0,044 \pm 0,018$ bit (Tab. XVI).

Tableau XV: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au niveau de chaque station d'étude du Mayo Tsanaga

Mayo Tsanaga								
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	Moyenne	Ecart-type
ni	44	46	51	14	44	44	40,50	13,26
H'	0,082	0,070	0,037	0,151	0,082	0,082	0,084	0,037
J	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001

Les valeurs de l'indice d'équitabilité J de Piélou ont été également très faibles au niveau de chaque station du Mayo Tsanaga. Elles ont varié de 0,001 dans les stations MT1, MT2, MT3, MT5 et MT6 à 0,003 à la station MT4 avec une moyenne de 0,002±0,001 (Tab. XVI). Elles ont sont restées égales à 0,001 au cours des trois périodes de permanence des eaux dans ce cours d'eau (Tab. XVII).

Tableau XVI: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au cours de chaque période dans le Mayo Tsanaga

Mayo Tsanaga					
	A	B	C	Moyenne	Ecart-type
Ni	47	51	52	50	2,646
H'	0,064	0,037	0,030	0,044	0,018
J	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000

Dans le Mayo Kaliao, les valeurs de H' ont été également très faibles (< 0,5 bit) au cours de l'étude. Elles ont varié de 0,088 bit à la station MK3 à 0,128 bit à la station MK2 avec une moyenne de 0,113±0,022 bit (Tab. XVII) et de 0,099 bit en début de permanence de l'eau à 0,128 bit en fin de permanence de l'eau avec une moyenne de 0,113±0,022 bit (Tab. XVII). Il faut noter que la valeur de l'indice de diversité H' a diminué de l'amont à l'aval de ce cours d'eau et a augmenté du début à la fin de la permanence des eaux (Tab. XVII et XVIII).

Tableau XVII: Indices de diversité H' et d'équitabilité J au niveau de chaque station d'étude du Mayo Kaliao

Mayo Kaliao					
	MK1	MK2	MK3	Moyenne	Ecart-type
Ni	35	36	43	38	4,359
H'	0,128	0,123	0,088	0,113	0,022
J	0,009	0,002	0,002	0,004	0,004

Les valeurs de l'indice d'équitabilité J de Pielou ont été aussi très faibles dans le Mayo Kaliao. Elles ont varié de 0,002 aux stations MK2 et MK3 à 0,009 à la station MK1, la moyenne

étant $0,004 \pm 0,004$ (Tab. XVI). Ces valeurs ont été égales entre les trois périodes d'étude (Tab. XVIII).

Tableau XVIII : Indices de diversité H' et d'équitabilité J au cours de chaque période de permanence des eaux dans le Mayo Kaliao

Mayo Kaliao					
	A	B	C	Moyenne	Ecart-type
Ni	41	37	35	37,67	3,06
H'	0,099	0,119	0,128	0,115	0,015
J	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000

III.1.2.5.9. Indices EPT/Chironomidae

Dans le Mayo Tsanaga, les valeurs de l'indice EPT ont fluctué entre 75 individus à la station MT4 à 3152 individus à la station MT3 avec une moyenne de $1388,000 \pm 1173,489$ individus (Tab. XIX). Elles ont fluctué de 2421 individus en début de permanence de l'eau à 3381 individus en mi-permanence, la moyenne étant $1228,333 \pm 824,389$ individus (Tab. XX).

Tableau XIX : Indice EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Tsanaga

Mayo Tsanaga								
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	Moyenne	Ecart-type
EPT	1988	1926	3152	75	331	856	1388,000	1173,489
Chironomidae	507	328	982	9	557	161	424,000	342,506
EPT/Chiro	3,921	5,872	3,210	8,333	0,594	5,317	4,541	2,626

En ce qui concerne le ratio EPT/Chironomidae, il a varié entre 0,594 à la station MT5 et 8,333 à la station MT4, la moyenne étant de $4,541 \pm 2,626$ (Tab. XIX) et entre 1,169 en fin de permanence de l'eau et 5,515 en mi-permanence de l'eau avec une moyenne de $3,118 \pm 2,208$ (Tab. XX).

Tableau XX : Indices EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Tsanaga au cours des trois périodes de permanence des eaux

Mayo Tsanaga					
	A	B	C	Moyenne	Ecart-type
EPT	2421	3381	2531	2777,667	525,389
Chironomidae	907	613	2165	1228,333	824,389
EPT/Chiro	2,669	5,515	1,169	3,118	2,208

Dans le Mayo Kaliao, les valeurs de l'indice EPT ont varié de 618 individus à la station MK2 à 949 individus à la station MK1, la moyenne étant de $794,333 \pm 166,560$ individus (Tab.

XXI) et de 212 individus en début de permanence des eaux à 1251 individus en mi-permanence des eaux, la moyenne étant $794,333 \pm 530,777$ individus (Tab. XXI).

Tableau XXI : Indices EPT/Chironomidae obtenus dans le Mayo Kaliao

Mayo Kaliao					
	MK1	MK2	MK3	Moyenne	Ecart-type
EPT	949	618	816	794,333	166,560
Chironomidae	156	113	147	138,667	22,679
EPT/Chiro	6,083	5,469	5,551	5,701	0,334

Le ratio EPT/Chironomidae quant à lui a varié de 5,469 à la station MK2 à 6,083 à la station MK1 avec une moyenne de $5,701 \pm 0,334$ (Tab. XXI) et entre 4,144 en fin de permanence de l'eau à 8,123 en mi-permanence de l'eau, la moyenne étant $5,503 \pm 2,270$ (Tab. XXII).

Tableau XXII : Indice EPT/Chironomidae obtenues dans le Mayo Kaliao au cours des trois périodes de permanence des eaux

Mayo Kaliao					
	A	B	C	Moyenne	Ecart-type
EPT	212	1251	920	794,333	530,777
Chironomidae	50	154	222	142,000	86,626
EPT/Chiro	4,240	8,123	4,144	5,503	2,270

III.1.2.5.10. Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) et pourcentages des taxons tolérants et intolérants

Les valeurs de l'indice biotique de Hilsenhoff (HBI) dans le Mayo Tsanaga ont varié de 4,84 à la station MT6 à 9,18 à la station MT4 ; ce qui correspond à 3 degrés de pollution organique : probable (station MT6), substantielle (stations MT1, MT2 et MT3) et grave (station MT4) (Tab. XXIII).

Tableau XXIII : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) dans les stations d'étude du Mayo Tsanaga

Mayo Tsanaga					
	HBI	N	Qualité de l'eau	Signification	Code couleur
MT1	5,03	4947	Moyenne	Pollution organique substantielle	Green
MT2	5,01	4715	Moyenne	Pollution organique substantielle	
MT3	5,31	8372	Moyenne	Pollution organique substantielle	
MT4	9,18	1365	Très mauvaise	Pollution organique grave	Red
MT5	5,51	3362	Moyenne	Pollution organique substantielle	Green
MT6	4,84	2177	Bonne	Pollution organique probable	

Dans le Mayo Kaliao, les valeurs de l'indice HBI ont varié de 0,142 en fin de permanence des eaux à 4,862 en début de permanence des eaux et correspond à 2 niveaux de pollution organique des eaux (probable en début de permanence des eaux et absente en mi- et en fin de permanence des eaux) (Tab. XXIV).

Tableau XXIV : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans le Mayo Tsanaga au cours des 3 périodes

Mayo Tsanaga					
	HBI	N	Qualité de l'eau	Signification	Code couleur
A	4,862	6946	Bonne	Pollution organique probable	Green
B	0,825	7926	Excellente	Aucune pollution	Blue
C	0,142	12089	Excellente	Aucune pollution	

Dans le Mayo Kaliao, les valeurs de HBI ont fluctué de 4,63 à la station MK3 à 4,81 à la station MK1 et correspond à une pollution organique allant de probable à substantielle (Tab. XXV).

Tableau XXV: Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans les stations d'étude du Mayo Kaliao

Mayo Kaliao					
	HBI	N	Qualité de l'eau	Signification	Code couleur
MK1	4,81	2412	Bonne	Pollution organique probable	Green
MK2	5,44	1787	Moyenne	Pollution organique substantielle	Light Green
MK3	4,63	1756	Bonne	Pollution organique probable	Green

Sur le plan temporel, les valeurs de HBI ont fluctué de 0,154 en fin de permanence des eaux à 4,629 en début de permanence des eaux et correspond à une pollution organique probable ou absente (Tab. XXVI).

Tableau XXVI : Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) obtenues dans le Mayo Kaliao au cours des 3 périodes

Mayo Kaliao					
	HBI	N	Qualité de l'eau	Signification	Code couleur
A	4,629	604	Bonne	Pollution organique probable	
B	0,655	2616	Excellente	Aucune pollution	
C	0,154	2691	Excellente	Aucune pollution	

Les taxons tolérants (%TT) ont été largement prépondérants sur les taxons intolérants (%TI) au niveau de chaque station du Mayo Tsanaga et à toutes les périodes de permanence de l'eau au cours de l'étude (fig. 55). Leurs valeurs ont varié de 3,94% (station MT4) à 8,58 (station MT6) (fig. 55a) et de 6,30% (début de permanence) à 17,89% (fin de permanence) au cours de la permanence des eaux (fig. 55b). On remarque une augmentation graduelle de la densité de taxons tolérants du début à la fin de permanence de l'eau.

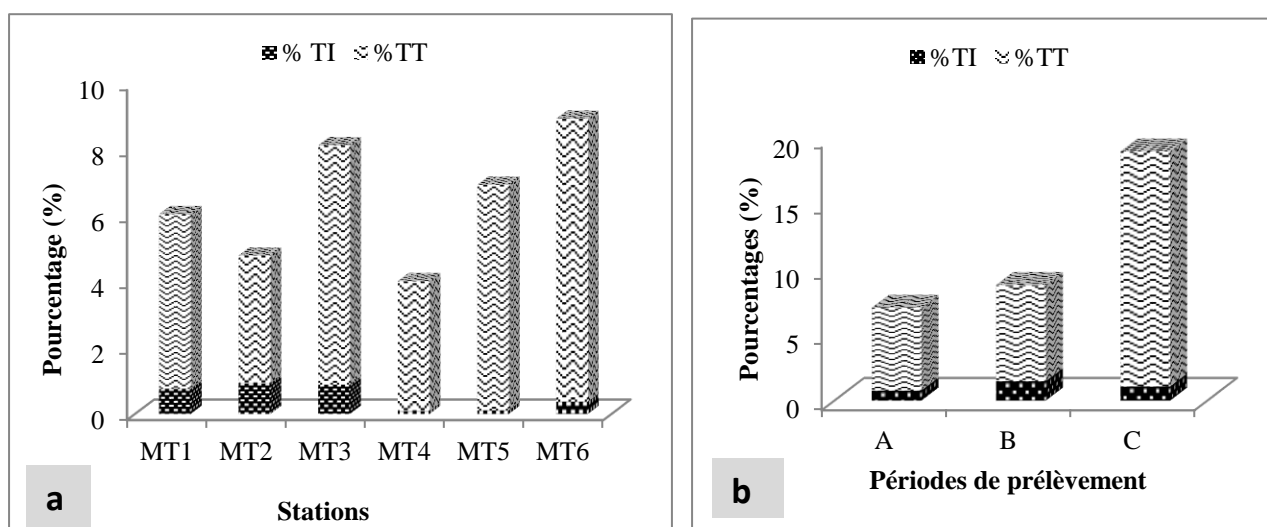


Figure 55 : Valeurs des pourcentages des taxons intolérants (% TI) et des taxons tolérants (% TT) obtenus dans les stations du Mayo Tsanaga (a) et au cours des périodes de la permanence des eaux (b).

Dans le Mayo Kaliao, le pourcentage des taxons tolérants (%TT) à la pollution organique a également été supérieur à celui des taxons intolérants (%TI) à la pollution organique (fig. 56). Leurs valeurs ont fluctué entre 1,43% (station MK3) et 2,69% (station MK1) (fig. 56a) et sont égales à 0,57% du début à la fin de la permanence des eaux (fig. 56b).

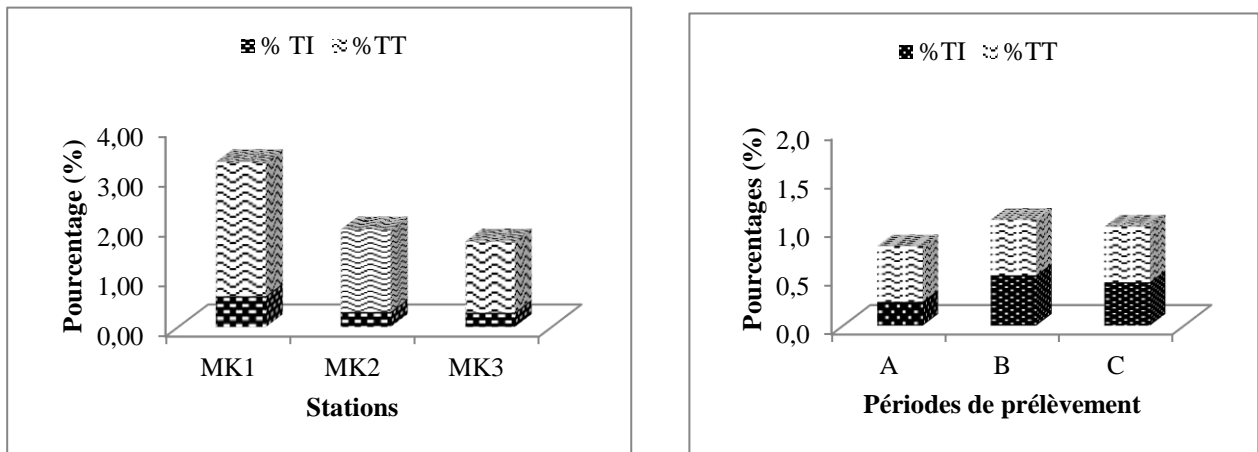


Figure 56 : Valeurs des pourcentages des Taxons intolérants (% TI) et des taxons tolérants (% TT) obtenus dans les stations du Mayo Kaliao (a) et au cours de la permanence des eaux (b).

III.1.2.5.11. Analyses en Composantes Principales des abondances de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau étudiés

Une ACP a été effectuée à partir des abondances des 28 taxons constants de macroinvertébrés benthiques et des données des cinq variables physico-chimiques obtenues au niveau des différentes stations d'étude et au cours des trois périodes de permanence des eaux dans chaque cours d'eau.

Dans le Mayo Tsanaga, l'ACP indique que les axes F1 et F2 cumulent 75,59% de la variabilité totale entre les stations d'étude et 98,06% de la variabilité totale entre les périodes d'étude (fig. 57 et 58). Ces deux axes permettent de dégager les taxons qui ont été les plus abondants dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude. Ainsi, les Baetidae (Ephéméroptères), les Chironomidae (Diptères), les Coenagrionidae (Odonates) et les Corixidae (Hétéroptères) ont été les plus abondants au niveau des stations MT1, MT2, MT3 MT5 et MT6 et les Syrphidae (Diptères) ont été plus abondants à la station MT4 du Mayo Tsanaga (fig. 57a et b). Par ailleurs, l'ACP relève que des cinq variables physicochimiques mesurées, la conductivité électrique (EC) est l'unique variable environnementale ayant un effet notable sur la distribution des taxons composant la macrofaune benthique de l'amont à l'aval dans le Mayo Tsanaga. Elle est corrélée aux Diptères Syrphidae à la station MT4 (fig. 57a).

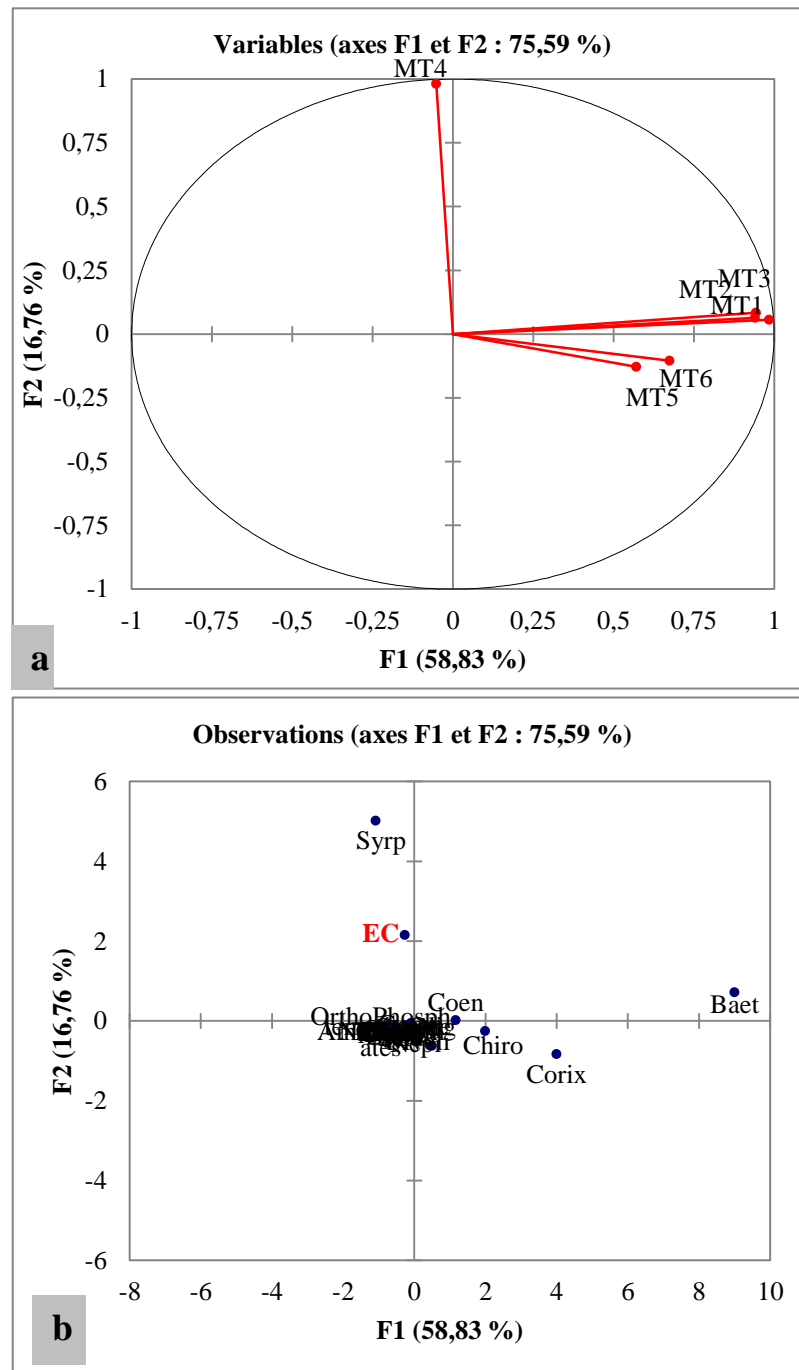


Figure 57: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des six stations d'étude du Mayo Tsanaga. **a-** Projections des stations, décrites par leurs communautés de macroinvertébrés benthiques, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP. **b-** Projections des variables physicochimiques et taxons constants de macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude dans les six stations d'étude, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (EC : conductivité électrique ; Corix : Corixidae, Chiro : Chironomidae ; Coen : Coenagrionidae ; Syrphidae).

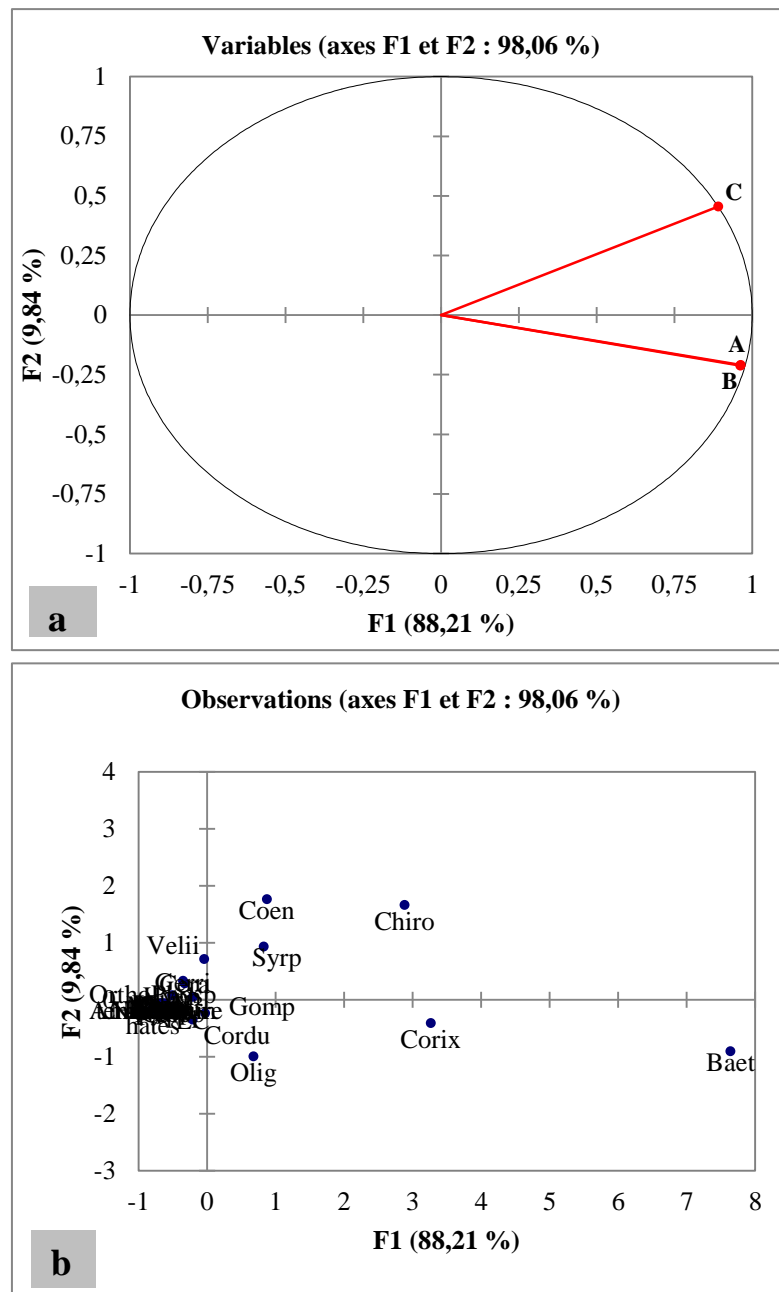


Figure 58: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des trois périodes de permanence des eaux du Mayo Tsanaga. **a-**Projections des périodes, décrites par leurs communautés de macroinvertébrés benthiques, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP. **b-**Projections des variables physicochimiques et taxons constants de macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude dans les trois périodes d'étude, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (EC : conductivité électrique ; Corix : Corixidae, Chiro : Chironomidae ; Coen : Coenagrionidae ; Syrphidae ; Velii : Veliidae ; Gomp : Gomphidae ; Cord : Corduliidae ; A : début de permanence de l'eau ; B : mi-permanence de l'eau ; C : fin de permanence de l'eau).

L'ACP permet de relever également qu'en début et en mi-permanence des eaux dans le Mayo Tsanaga, les Gomphidae (Odonates), les Corduliidae (Odonates), les Oligochètes, les Corixidae (Hétéroptères) et les Baetidae (Ephéméroptères) représentent les taxons les plus abondants alors qu'en fin de permanence des eaux, les Coenagrionidae (Odonates), les Syrphidae (Diptères), les Chironomidae (Diptères) et les Veliidae (Hétéroptères) représentent les taxons les plus abondants (fig. 58a et b). Cette ACP permet également de relever qu'il n'existe aucune corrélation entre les facteurs physicochimiques et les abondances des différents taxons composant le peuplement de macroinvertébrés benthiques du début de l'écoulement des eaux jusqu'à leur assèchement total dans le Mayo Tsanaga.

En définitive, 8 taxons sont les plus caractéristiques du Mayo Tsanaga. Il s'agit des Odonates Coenagrionidae, Gomphidae et Corduliidae, des Hétéroptères Veliidae et Corixidae, des Diptères Syrphidae et Chironomidae et des Ephéméroptères Baetidae.

Dans le Mayo Kaliao, l'ACP effectuée avec les 28 taxons constants et les cinq variables physicochimiques obtenues du début à la fin de la permanence des eaux montre que les axes F1 et F2 cumulent 97,11% de la variabilité totale entre les stations d'étude (fig. 59) et 96,72% de variabilité entre les périodes de permanence des eaux (fig. 60). Ces deux axes montrent que les Leptophlebiidae (Ephéméroptères), les Corixidae, (Hétéroptères), les Chironomidae (Diptères), les Baetidae (Ephéméroptères), les Coenagrionidae (Odonates), les Culicidae (Diptères) et les Gerridae (Hétéroptères) ont été les taxons les plus abondants dans ce cours d'eau (fig. 59a et b) du début à la fin de la permanence des eaux (Fig. 60a et b). La température et la conductivité électrique (EC) des eaux sont des variables de la répartition des macroinvertébrés benthiques dans cette rivière (fig. 59b).

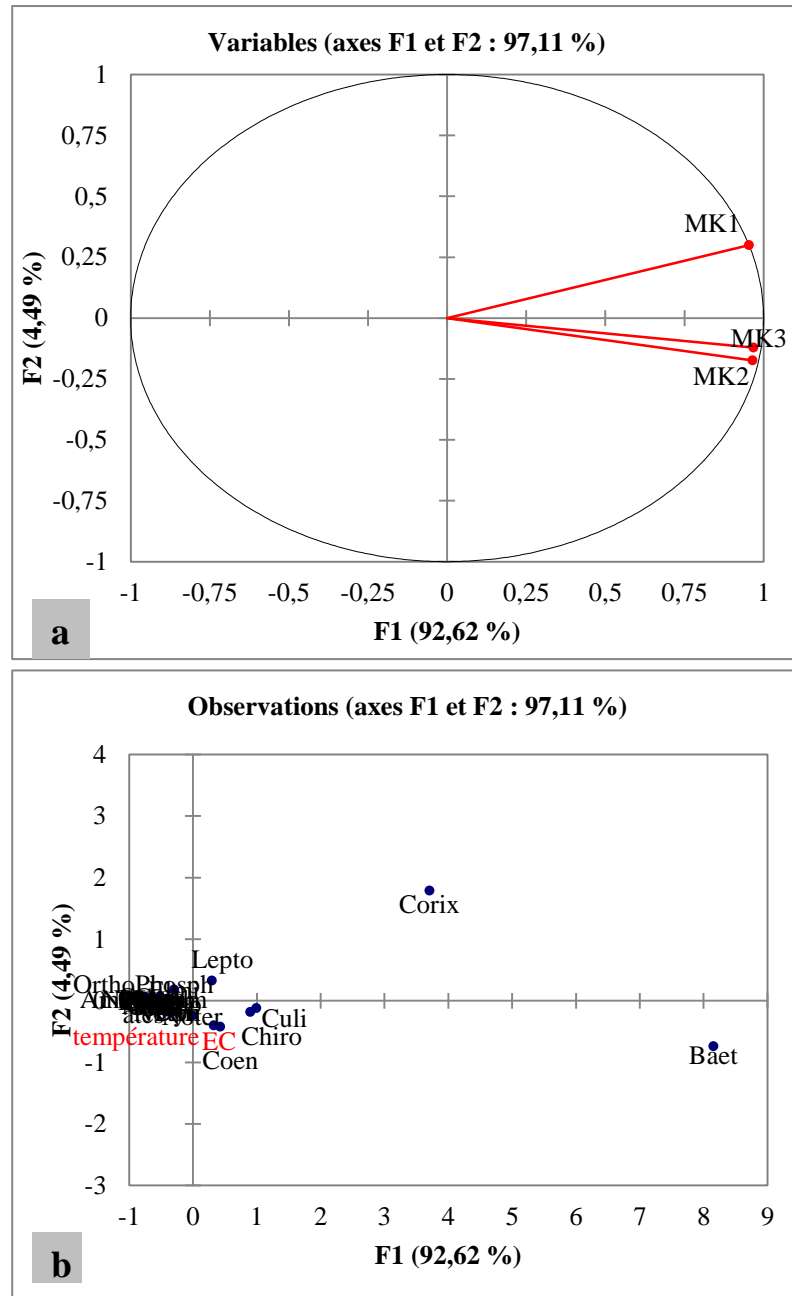


Figure 59: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des six stations d'étude du Mayo Kaliao. **a-** Projections des stations, décrites par leurs communautés de macroinvertébrés benthiques, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP. **b-** Projections des variables physicochimiques et taxons constants de macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude dans les six stations d'étude, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (EC : conductivité électrique ; Lepto : Leptophlebiidae ; Culi : Culicidae ; Corix : Corixidae, Chiro : Chironomidae ; Coen : Coenagrionidae ; A : début de permanence de l'eau ; B : mi-permanence de l'eau ; C : fin de permanence de l'eau).

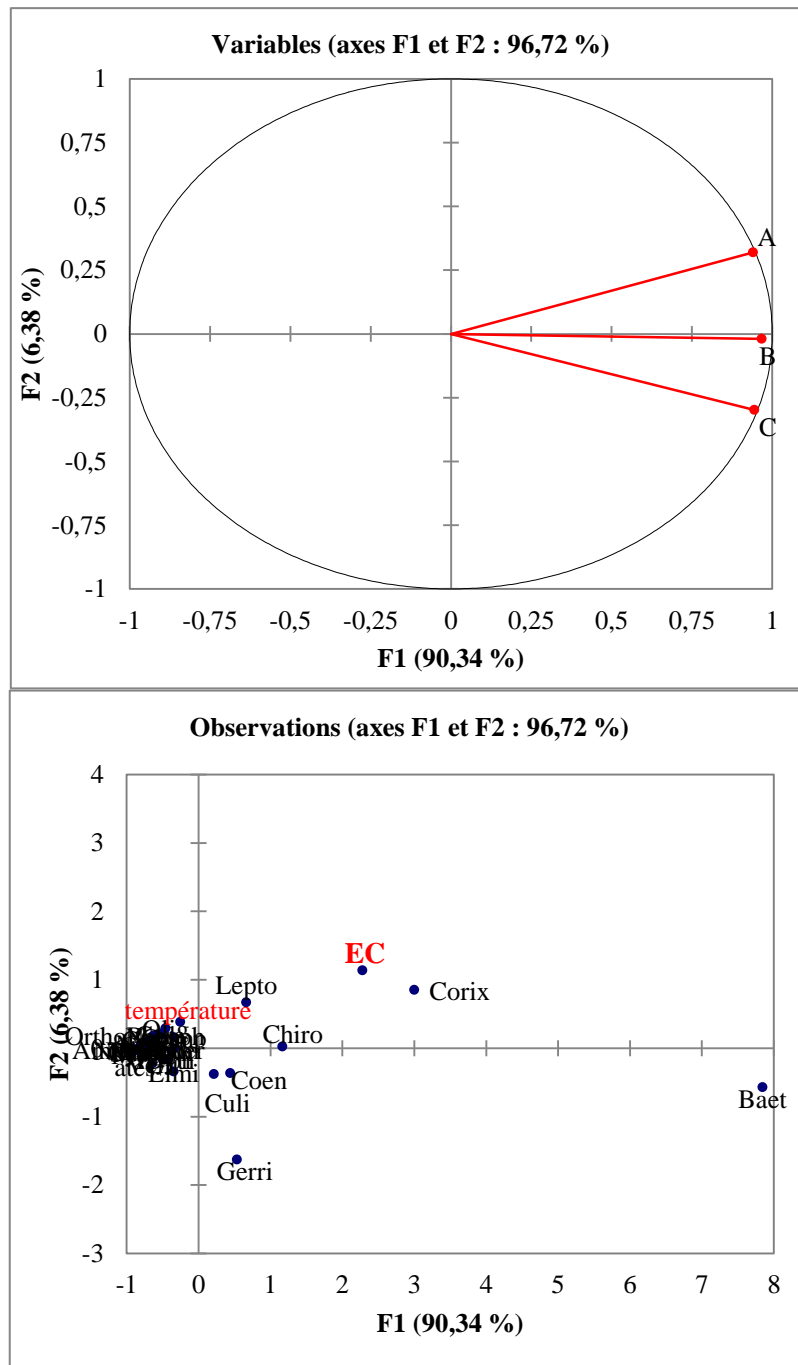


Figure 60: ACP effectuée sur les effectifs des taxons constants de macroinvertébrés benthiques et les valeurs des variables physico-chimiques des trois périodes de permanence des eaux du Mayo Tsanaga. **a-** Projections des périodes, décrites par leurs communautés de macroinvertébrés benthiques, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP. **b-** Projections des variables physicochimiques et taxons constants de macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude dans les trois périodes d'étude, sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (EC : conductivité électrique ; Corix : Corixidae, Chiro : Chironomidae ; Coen : Coenagrionidae ; Culi : Culicidae ; Gerri : Gerridae).

En définitive, 7 taxons également caractérisent le Mayo Kaliao : les Odonates Coenagrionidae, les Hétéroptères Baetidae et Leptophlebiidae, les Hétéroptères, Gerridae et Corixidae, les Diptères Culicidae et Chironomidae.

III.2. DISCUSSION

III.2.1. Qualité physicochimique des eaux des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao : fonctionnement des cours d'eau temporaires en zone soudano-sahélienne

Les analyses physicochimiques des eaux du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao effectuées 2012 puis en 2013 et 2014 ont montré que les eaux de ces cours d'eau sont très peu chargées en éléments nutritifs (nitrates, ammonium et orthophosphates) et sont peu minéralisées (les moyennes de la conductivité électrique sont inférieures à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Nisbet et Verneaux, 1970). Ces rivières sont alors caractérisées par des eaux oligotrophes nonobstant l'impact de l'érosion et des activités agricoles, domestiques et industrielles ayant cours dans leurs bassins versants. Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux obtenus par Alhou et *al.* (2009) dans le fleuve Niger à Niamey. Ce fleuve situé en zone soudano-sahélienne est le récepteur principal des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey (Capitale du Niger) provenant des activités industrielles, domestiques, hospitalières et agricoles. Ces auteurs révèlent une minéralisation très faible à faible des eaux, mais, une ammonification plus poussée et des teneurs d' O_2 dissous élevées. Les teneurs d'oxygène dissous n'ont pas été évaluées dans le présent travail. Cependant, l'évolution progressive de la qualité des eaux des stations relevée par l'axe F3 de l'ACP entre les variables environnementales, du début à la fin de la permanence des eaux dans le Mayo Tsanaga, permet de suggérer que la mi-permanence de l'eau correspond à la période où les eaux des rivières étudiées sont plus oxygénées. En effet, cette analyse a montré qu'en début de permanence, les eaux sont riches en ion ammonium, en mi-permanence elles deviennent minéralisées alors qu'en fin de permanence elles sont plus chaudes et riches en orthophosphates. On peut donc penser que le début de la permanence des eaux et la fin de la permanence des eaux sont caractérisées par des eaux peu oxygénées alors que la mi-permanence des eaux est caractérisée par des eaux plus oxygénées. Par ailleurs, la présence des Odonates Calopterygidae essentiellement lors de la mi-permanence des eaux dans les deux cours d'eau permet d'affirmer que les eaux sont très oxygénées pendant la mi-permanence car ce sont des insectes qui affectionnent les cours d'eau rapides, claires et riches en oxygène (Anonyme, 2007). L'élévation du taux d'oxygène dissous des eaux au cours de la mi-permanence serait due aux fortes turbulences créées par le vent et les variations de débit de l'eau pendant cette période, ce qui favorise les échanges à l'interface air-eau.

Les résultats de la présente étude ne sont semblables à aucune étude similaire menée sur les eaux camerounaises à régime permanent. En effet, toutes les études effectuées dans les plans d'eau et les cours d'eau anthropisés des zones forestières (Zébazé Togouet, 2000 ; Nangmo, 2004, Nyamsi Tchatcho, 2004 ; Onana, 2009 ; Ebang Menye et *al.*, 2014), des zones littorales (Onana et *al.*, 2014 et 2015, Onana, 2016 ; Tchakonté et *al.*, 2014a,b et 2015) et des zones montagneuses (Ajonina, 2014) qui sont perturbés par les effets des activités anthropiques ont révélé des eaux eutrophes à polyeutrophes, ceci dû aux quantités importantes de substances organiques charriées directement ou non dans les milieux aquatiques. Ces études ont également révélé une minéralisation très forte des eaux suite à la pollution organique. En zone tropicale humide et équatoriale, les présents résultats se rapprochent plutôt de ceux obtenus par Foto Menbohan et *al.* (2012, 2013) dans la Mefou supérieure et dans le Nga, deux cours d'eau de montagne camerounais dont le bassin est faiblement anthropisé (les feuilles mortes et les débris végétaux constituent les seules sources de matière organique dans leur bassin versant). En effet, ces auteurs révèlent une minéralisation très faible des eaux et une oxygénation élevée liées à un faible apport en matières organiques d'origine anthropique. Ces observations montrent que dans les zones soudano-sahéliennes, la qualité physicochimique des eaux des cours d'eau anthropisés n'est pas due directement à la charge organique présente dans le milieu comme dans les zones tropicales humides. Elle serait liée principalement à l'hydrologie du milieu et à la température de l'eau. En effet, les changements hydrologiques incessants (variations de débit, de vitesse de l'écoulement et de hauteur d'eau) qui s'opèrent dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao imposent une remise en suspension des substances organiques présentes dans le milieu et une oxygénation permanente grâce aux turbulences engendrées par ces changements hydrologiques. Cette oxygénation favorise de ce fait une dégradation accrue des matières organiques putrescibles, catalysée par les températures élevées (la moyenne des températures dans les deux cours d'eau est supérieure à 29°C), et par conséquent, une autoépuration rapide des eaux. Les débits élevés de l'écoulement après les pluies favoriseraient également le phénomène de dérive des polluants, ce qui contribue à la réduction de la charge organique et induit une faible minéralisation des eaux malgré toutes les perturbations citées. Cependant, cette faible minéralisation ne garantit pas une bonne qualité de ces eaux pouvant permettre leur usage comme eau de boisson tel que pratiquer par les populations riveraines au Mayo Kaliao et au Mayo Tsanaga. Une caractérisation microbiologique de ces cours d'eau devra être effectuée afin d'envisager leurs usages comme tel. Aussi, une mesure du taux d'oxygène dissous dans les eaux pourra permettre de déterminer l'origine de la faible minéralisation.

Dans le Mayo Tsanaga, les teneurs de cinq paramètres physicochimiques mesurées ont été plus élevées au niveau de la station MT4 qu'au niveau des cinq autres stations retenues sur ce cours d'eau. Ceci serait dû aux effluents de la SODECOTON qui charrient les substances chimiques et organiques issus de l'exploitation du coton par cette société. En fait, la station MT4 est située en aval de la confluence des effluents de la SODECOTON avec le Mayo Tsanaga. Autour des stations MT1, MT2, MT3, MT5 et MT6 sont pratiquées principalement l'agriculture et la défécation à l'air libre (animale et humaine) mais d'intensité variable selon les stations. Par ailleurs, la station MT3 reçoit les déchets (sang, sabot, déchets stomacaux) issus de l'abattoir de Djarengol où sont abattus en moyenne 15 bœufs/jour.

La présente étude a relevé que les eaux du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao ont été chaudes durant toute leur permanence, la température maximale étant enregistrée en fin de permanence des eaux. Ce réchauffement permanent des eaux est l'une des conséquences immédiates de la très faible couverture végétale au bord des rivières qui augmente l'incidence des rayons solaires sur les eaux. D'après Mazzacano et Hoffmann Black (2008) puis Qiu (2013), la présence d'un couvert végétal au bord d'un cours d'eau réduit l'incidence des rayons lumineux sur les eaux. La forte amplitude thermique qui existe dans la région impose également une grande variation de la température observée dans les eaux. Ce réchauffement permanent des eaux serait également lié à la faible profondeur des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao et à la nature sableuse de leurs fonds car le sable emmagasine la chaleur, puis la relargue progressivement dans les eaux. Les organismes colonisant ces eaux seraient donc eurythermes, c'est-à-dire qu'ils seraient tolérants à de large variation de température de l'eau (l'amplitude thermique est de 10,3°C dans le Mayo Tsanaga et de 11,1°C dans le Mayo Kaliao).

Les eaux des 2 rivières étudiées ont une tendance à l'alcalinité. Ceci serait imputable à la nature calco-argileuse des sols de la plaine de Diamaré. Rodier et *al.* (2009) mentionnent à cet effet que le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés et que les terrains calcaires favorisent l'augmentation du pH. Les valeurs de pH obtenues à la station MT4 du Mayo Tsanaga révèlent que l'élévation de pH n'est pas le seul fait de la nature du sol. Elle pourrait être également due aux effluents de la SODECOTON.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent une évolution progressive de la qualité des eaux du début à la fin de la permanence des eaux dans toutes les stations : en début, les eaux sont moins polluées et riches en ion ammonium, en mi-permanence elles sont minéralisées alors qu'en fin de permanence elles deviennent plus chaudes et riches en orthophosphates. Au début

de la permanence des eaux, la dégradation des matières organiques accumulées dans le lit des cours d'eau pendant la longue saison sèche libère les ions NH_4^+ . Par la suite, à la mi-permanence de l'eau, les fortes turbulences créées par le vent et par les changements hydrologiques accentuent l'oxygénation de l'eau grâce aux échanges à l'interface air-eau. Angelier (2000) puis à Devidal et *al.* (2007) suggèrent que les phénomènes de turbulences favorisent les échanges gazeux à l'interface air-eau qui sont dominants à ceux résultant de la photosynthèse et de la respiration. La minéralisation qui s'en suit entraîne l'élévation des teneurs des ions NO_3^- , de la conductivité électrique et du pH, d'où leur dominance à la mi-permanence. Cette élévation serait imputable aux eaux de ruissèlement qui transportent jusqu'à la rivière toutes les particules érodées ou lessivées au sol calco-argileux (dont les engrais appliqués dans les espaces agricoles), augmentant ainsi la quantité de substances putrescibles disponibles. En fin de permanence de l'eau, l'arrêt des pluies et l'abaissement progressif de la hauteur de l'eau rémanente accentuent l'influence du soleil et la température de l'eau s'accroît. En outre, la stabilité qui s'installe entraîne le dépôt de quantités importantes de détritiques dont la reminéralisation par la température augmente le taux de phosphates. En fait, à la fin de permanence de l'eau, diverses activités humaines sources de détritiques sont menées dans les eaux, notamment la défécation (humaine et animale) et la lessive avec usage de détergents. Les quantités importantes de détritiques reminéralisés par les températures élevées augmentent le taux de nombreux sels dont les sels de phosphates (Triantfyllou et *al.*, 2000). La corrélation positive entre la température et les ions PO_4^{3-} ($n = 0,465$; $\alpha = 5\%$) témoigne bien du fait que la température catalyse des réactions métaboliques favorisant la libération des ions orthophosphates dans les eaux.

En définitive, la qualité physicochimique des eaux du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao n'est pas définie par le seul fait des activités effectuées dans le bassin versant et des quantités de détritiques disponibles. Les paramètres hydrologiques et la température de l'eau apparaissent comme les facteurs principaux régissant le fonctionnement de ces rivières étudiées et donc des milieux lotiques temporaires en zone soudano-sahélienne. Les facteurs comme le taux de sels dissous et le degré de trophie seraient accessoires.

III.2.2. Composition de la macrofaune

La communauté des macroinvertébrés des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao est composée principalement d'Arthropodes (Insectes, Crustacés), de Mollusques et d'Annélides. Tous les macroinvertébrés répertoriés dans le présent travail ont été déjà tous signalés en zone soudano-

sahélienne (Durand et Lévêque, 1981) et reflètent d'une façon générale la composition faunistique de la macrofaune benthique des eaux douces africaines, notamment en Afrique du Sud (De Moor et *al.*, 2002, 2003a et b, 2007), en Côte d'Ivoire (Diomandé et *al.*, 2009), au Niger (Alhou et *al.*, 2009), en Algérie (Haouchine, 2011) et au Cameroun (Nangmo, 2004 ; Ebang Menye, 2004 ; Kiampi Choffo, 2004 ; Nyamsi Tchatcho, 2004 ; Foto et *al.*, 2010, 2012, 2013 ; Ajonina, 2014 ; Onana et *al.*, 2014 ; Onana, 2016, Tchakonté, 2015). De nombreuses études ont révélé un grand degré de chevauchement entre la composition de la macrofaune benthique des cours d'eau temporaires et des cours d'eau permanents (Williams, 1987 ; Delucchi & Peckarsky, 1989; Boulton & Lake, 1992a et b; Dieterich, 1992; Feminella, 1996; Banks, 2005; Beche et *al.*, 2006), la majorité des taxons étant communs aux deux types de milieu aquatique.

La communauté de macroinvertébrés benthiques des deux cours d'eau étudiés a permis en 17 campagnes (12 en 2013 et 5 en 2014) de recenser 56 familles et 30891 individus. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus dans les zones forestières et côtières camerounaises où les cours d'eau permanents sont également soumis aux fortes perturbations humaines. En effet, la richesse taxonomique cumulée dans 5 cours d'eau fortement anthropisés du bassin versant du Mfoundi (Yaoundé, Cameroun) a été évaluée à 29 familles seulement (Nangmo, 2004 ; Ebang Menye, 2004 ; Kiampi Choffo, 2004 ; Nyamsi Tchatcho, 2004). Dans le bassin du Wouri (Douala, Cameroun), Onana et *al.* (2014) ont identifié 23 familles et 3703 individus de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Simbi ; Tchakonté et *al.* (2014a) ont enregistré 48 familles et 11495 individus dans 3 cours d'eau. Les résultats obtenus dans cette étude sont proches de ceux obtenus par Foto Menbohan et *al.* (2010 et 2013) dans le Nga, un cours d'eau de montagne situé dans la même écorégion que le Mfoundi mais en zone périurbaine et faiblement anthropisée. Ces auteurs décrivent dans ce cours d'eau 59 familles en 2010 et 74 familles en 2013, cependant, seulement 1455 individus et 2553 individus ont été dénombrés pendant ces années respectives. Ces résultats indiqueraient que les macroinvertébrés benthiques colonisant les écosystèmes lotiques temporaires seraient plurivoltins, c'est-à-dire capables d'accomplir plusieurs cycles biologiques au cours la courte permanence de l'eau dont la durée est incertaine. Le plurivoltinisme ou multivoltinisme est l'une des stratégies de survie des organismes vivants aux conditions difficiles (Tachet et *al.*, 2006). D'après ces auteurs, une proportion plus forte d'espèces plurivoltines est révélatrice d'une instabilité stationnelle plus élevée. Cette instabilité permanente dans les cours d'eau étudiés qui est due à une instabilité des facteurs hydrologiques du milieu permet l'installation de divers taxons aux préférences

environnementales variables. L'hydrologie est un facteur déterminant qui influence la dynamique des écosystèmes, les stratégies du cycle de développement des organismes et la composition de la diversité dans les habitats aquatiques d'eau courantes temporaires (Schriever et *al.*, 2015). Ces auteurs ont reporté la présence de 43 familles de macroinvertébrés benthiques en inspectant 7 cours d'eau temporaires faiblement perturbés de Huachuca Mountains dans le sud-est de l'Arizona aux USA. Les eaux temporaires tropicales plus chaudes seraient plus favorables au développement des invertébrés benthiques que les eaux temporaires des zones tempérées.

La richesse taxonomique obtenue dans ce travail est très élevée par rapport à celle enregistrée dans la zone soudano-sahélienne par Alhou et *al.* (2009) qui ont signalé 39 taxons dans le fleuve Niger. La forte richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques des deux cours d'eau étudiés par rapport à leur faible richesse obtenue dans le fleuve Niger traduirait le fait que l'assèchement périodique des cours d'eau temporaires en zone soudano-sahélienne ne laisse pas assez de temps aux polluants d'exercer leurs effets néfastes sur les communautés benthiques qui tendraient à diminuer leur diversité. Des études comparatives sur la composition des communautés benthiques des cours d'eau temporaires et des cours d'eau permanents d'une même région aux États-Unis ont montré que les cours d'eau temporaires sont généralement très pauvres en macroinvertébrés benthiques ou ont un nombre limité d'espèces capables de compléter leur cycle de développement avant le tarissement des eaux (Dieterich, 1992; Ohio EPA, 2002; Bonada et *al.*, 2007). Il n'en n'est pas de même dans la présente étude et cette observation confirmerait que les eaux temporaires tropicales plus chaudes sont plus favorables au développement des invertébrés benthiques que les eaux temporaires des zones tempérées.

Les insectes Diptères, avec 15 familles soit 26,78% de la richesse taxonomique totale, représentent le groupe le mieux diversifié de la faune de macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao. Ces résultats sont semblables à ceux effectués dans les cours d'eau temporaires (Stanley et *al.*, 1994 ; Schriever et *al.*, 2015) et dans les cours d'eau pérennes africaines (Diomandé et *al.*, 2009 ; Adandedjan, 2012 ; Tchakonté et *al.*, 2015). Contrairement aux cours d'eau permanents où les Chironomidae et les mollusques représentent les taxons les plus abondants, la faune d'invertébrés du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao est dominée numériquement par les Ephéméroptères (notamment les Baetidae avec 35,97 % de l'abondance totale). Cette observation traduirait de ce fait que le degré de trophie du milieu n'est pas un facteur important dans les cours d'eau temporaires. Dans les régions tropicales et subtropicales, plusieurs espèces d'Ephéméroptères sont plurivoltines ayant un cycle de développement très

court leur permettant de survivre et pulluler dans les cours d'eau temporaires (Peters & Campbell, 1991). Ce pullulement est favorisé par les températures élevées qui accélèrent leur vitesse de croissance et réduisent le nombre de leur stade de développement. Haouchine (2011) a reporté des résultats similaires dans les cours d'eau de Kabylie (Algérie, Afrique du Nord). Cependant, cet auteur attribue leur importance à l'hétérogénéité de leurs habitats qui sont caractérisés par des températures relativement élevées et un substrat hétérogène riche en matière organique. Les mollusques identifiés sont des hôtes intermédiaires des parasites incriminés dans des pathologies surtout chez les animaux d'élevage très abondants dans la zone d'étude.

Le nombre de familles de Plécoptères et de Trichoptères a été faible dans les rivières étudiées (une famille pour chaque ordre). Leur faible richesse et leur apparition sporadique ne traduit pas directement la richesse du milieu en polluants organiques. Durand et Lévêque (1981) ont signalé que l'ordre des Plécoptères en zone soudano-sahéliennes étaient représenté uniquement par une seule famille et un seul genre, les Perlidae *Neoperla* également rencontrés dans le présent travail et par Alhou et *al.* (2009) dans le fleuve Niger. Cependant, les Trichoptères représentés dans cette étude par une famille et un seul genre, les Hydropsychidae *Hydropsyche*, sont plus diversifiés dans le fleuve Niger (avec 6 genres). Les organismes du genre *Hydropsyche* possèderaient des mécanismes d'adaptations les rendant plus tolérants aux variations de flux (calme-rapide) qui ont lieu dans les eaux temporaires.

L'importante richesse des collecteurs-rassembleurs observée au cours de l'étude a été aussi signalée en milieu tropical par certains auteurs (Jacobsen et Encalada ; 1998, Mathuriau, 2002). En effet, leur prolifération dans le milieu est liée à la présence de fines particules de matières organiques en suspension dans l'eau qui leur servent de nourriture (Palmer et *al.*, 1993). La remise en suspension des particules est favorisée par les changements hydrologiques incessants ayant lieu dans le Mayo Kaliao et le Mayo Tsanaga. Une telle communauté impliquerait l'absence de compétitions interspécifiques car il y a de la nourriture en quantités relativement abondantes (Adandejan, 2012). En effet, les détritiques en zone tropicale sont omniprésents et abondants et leur décomposition est sans doute accélérée par les températures élevées (Mathuriau, 2002). La richesse élevée des prédateurs est surtout liée à la grande diversité des Diptères comme les Chironomides dont ils se nourrissent (Diomandé, 2001). Par ailleurs, la densité des prédateurs tend à augmenter au fur et à mesure que les eaux temporaires s'assèchent (Mazzacano et Hoffman Black, 2008). Les fragmentateurs et les racleurs sont des organismes préférant des habitats plus calmes (Tomanova et *al.*, 2006). Leur richesse plus faible se justifierait par une grande mortalité causée par une forte exposition au ruissellement.

Toutefois, la méthode d'échantillonnage utilisée (filet troubleau) reste inadéquate pour collecter surtout les fragmentateurs (Pringle et Ramirez, 1998).

Un examen des abondances des différents taxons des macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude montre que tous les taxons ont été plus abondants dans le Mayo Tsanaga que le Mayo Kaliao à l'exception des Leptophlebiidae (Ephéméroptères) plus nombreux dans le Mayo Kaliao. Or, l'indice de qualité de l'habitat (IQH) a montré que le Mayo Kaliao était plus apte à soutenir une macrofaune que le Mayo Tsanaga. Le Mayo Kaliao, de par sa situation géographique, serait plus impacté par les activités humaines que le Mayo Tsanaga. En effet, le Mayo Kaliao s'écoule en plein cœur de la ville de Maroua et draine de nombreux quartiers peuplés tout au long des berges. Par conséquent, les habitats aquatiques sont plus perturbés ou en perpétuel remaniement par les populations riveraines par les actions telles que l'extraction de sable, la coupe de la végétation de bordure pour nourrir le bétail et aussi par l'effondrement des berges après de fortes pluies. Par ailleurs, seulement 3 points d'échantillonnage ont été retenus dans ce cours d'eau. La faible différence significative signalée entre les deux cours d'eau ($n = 0,04$; $p = 0,05$) exprime bien la spécificité de chaque cours d'eau nonobstant leur appartenance à la même zone écologique qui est la plaine du Diamaré, une zone alluvionnaire et de piémont.

L'analyse des occurrences et des abondances des macroinvertébrés identifiés permet de retenir que les taxons constants sont ceux les plus largement distribués le long des cours d'eau étudiés (dans au moins quatre stations sur le Mayo Tsanaga et toutes les stations du Mayo Kaliao), aussi bien dans le sable, les zones de végétation, les faciès lenticules (*pool* en anglais), les faciès lotiques (*riffle* en anglais) que dans les zones plus ou moins riches en substances organiques. Leur composition révèle la difficulté à l'état des résultats actuels de définir le mode de fonctionnement type du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao. Parmi les taxons constants, 10 ont été omniprésents c'est-à-dire que leur pourcentage d'occurrence a été égal à 100 % (Dajoz, 2000). Ces taxons qui peuvent être considérés comme caractéristiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao sont les Coenagrionidae, les Corduliidae, les Gomphidae, les Baetidae, les Corixidae, les Naucoridae, les Ceratopogonidae, les Chironomidae, les Noteridae et les Oligochètes. On constate que ce groupe de taxons caractéristiques des cours d'eau étudiés est composé à la fois de taxons tolérants et de taxons intolérants à la pollution organique. Ceci relève la complexité de la compréhension de l'écologie des cours d'eau temporaires étudiés et de celle des écosystèmes lotiques temporaires en zone soudano-sahélienne.

III.2.3. Dynamique spatiale de la macrofaune benthique des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao

La plupart des taxons de macroinvertébrés inventoriés dans les cours d'eau étudiés sont représentés dans toutes les stations du Mayo Tsanaga sauf au niveau de la station MT4. Et pourtant, l'indice de qualité de l'habitat (IQH) obtenu à cette station la classe dans la même catégorie que les stations MT1, MT2, MT3 et MT5. La station MT3 qui est la plus représentative dans le Mayo Tsanaga tant sur le plan qualitatif que quantitatif se situe en amont de la station MT4. La station MT4 semble être la plus dégradée parmi les six stations sélectionnées sur cette rivière. Une différence hautement significative ($p < 0,0001$; $\alpha = 0,05$) a d'ailleurs été mentionnée entre cette station et les autres stations retenues sur ce cours d'eau. Les stations MT1, MT2, MT3 et MT5 sont sous l'influence des polluants d'origine agricole et domestique. En plus de ces polluants, la station MT4 quant à elle est influencée par les polluants d'origine industrielle introduits par les effluents de la SODECOTON, une société spécialisée dans l'extraction de l'huile de coton. Ces observations permettent de confirmer les résultats de la physicochimie selon lesquels la SODECOTON apporte à l'eau des substances qui tendent à dégrader la qualité de celle-ci. Aussi, ces observations permettent de conclure que la tolérance des macroinvertébrés vis-à-vis des polluants est fonction de l'origine de ces derniers, les polluants d'origine domestique et agricole étant plus favorables au développement et à la prolifération des invertébrés benthiques (richesse et densité) que les polluants d'origine industrielle qui réduisent le nombre de taxons. Les perturbations environnementales à la station MT4 consécutives à la pollution entraîne une dégradation poussée des habitats qui favorisent la disparition de nombreux taxons. Les insectes représentés par 50 taxons en amont de la station MT4 a été réduite à 12 taxons dans cette station. Charvet (1995), Tachet et *al.* (2006) puis Moisan et Pelletier (2008) démontrent à ce titre que la majorité des insectes aquatiques sont très sensibles à la pollution et toute perturbation de l'environnement entraînant la modification de leur habitat conduit à leur disparition. L'ACP a opposé la station MT4 aux 5 autres stations. Elle est caractérisée par les Diptères Syrphidae connus pour leur tolérance élevée à la pollution (FTV = 10) grâce au long siphon respiratoire qui leur permet de capter directement l'oxygène atmosphérique (Mandaville, 2002). Les Syrphidae sont corrélés à la conductivité électrique de l'eau et témoignent de la richesse de ce site en éléments dissous et donc en matières organiques. La présence des 12 autres taxonomiques récoltés dans la station MT4 lors de la mi-permanence s'explique alors par le fait qu'au cours de cette période l'épaisseur de la lame d'eau moment de l'échantillonnage est élevée, ce qui dilue aussi les eaux et réduit ainsi la concentration des effluents de la SODECOTON.

L'ACP a opposé les stations MT1, MT2 et MT3 aux stations MT5 et MT6. Cette disparité entre les stations serait due à la nature de la végétation qui borde ces stations. Les stations MT1, MT2 et MT3 sont composées essentiellement d'une végétation herbacée alors que les stations MT5 et MT6 sont constituées d'une strate arborescente. La forte abondance des Baetidae et des Coenagrionidae dans les stations MT1, MT2 et MT3 pourrait confirmer cette observation car ce sont des insectes affectionnant les habitats aquatiques de végétation (Tachet et *al.*, 2006).

Cette étude a relevé l'augmentation de la diversité taxonomique le long du Mayo Kaliao alors que l'IQH classe toutes les stations retenues sur ce cours d'eau dans la même catégorie. L'augmentation de la diversité taxonomique de l'amont à l'aval de ce cours d'eau montre que les stations MK2 et MK3 offrirait de nouvelles possibilités d'habitats aux nouveaux organismes benthiques par rapport à la station MK1. C'est pourquoi les Diptères Ephydriidae, Stratiomyidae, Muscidae et Calliphoridae par exemple n'ont été récoltés qu'à la station MK2 et à la station MK3.

III.2.4. Dynamique temporelle de la communauté de macroinvertébrés des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao

L'évolution de la richesse et de l'abondance des macroinvertébrés benthiques adaptés aux Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao n'a pas révélé comme attendue une succession écologique au fil du temps. Elle met plutôt en relief les variations d'abondances et de diversités entre les trois périodes de permanence des eaux. Bien que certaines périodes aient été plus diversifiées, aucune différence significative n'a été observée entre les trois périodes dans ces deux cours d'eau. Le retour des conditions favorables corollaire au retour de l'eau dans les rivières à partir du mois de juillet stimule la reprise des activités par les organismes restés quiescents ou en diapause dans le lit, le retour en surface de ceux qui avaient trouvés refuge dans le milieu hyporhéique adjacent et l'apport par dérive des organismes du cours supérieur ou du bassin versant (Angelier, 2000). Cette reprise des activités entraîne la recolonisation progressive des eaux jusqu'en fin de permanence de l'eau. La diminution de la diversité des macroinvertébrés benthiques observée dans les deux cours d'eau entre les périodes de permanence des eaux serait liée au phénomène d'émergence de certains insectes qui ont bouclé leur cycle de vie et qui quittent l'eau. Angelier (2000) signale à ces propos que les insectes à adultes aériens des eaux courantes, après avoir achevés leur cycle dans l'eau, les larves de dernier stade quittent l'eau et se fixent sur les végétaux de bordure où ils subissent la mue imaginale pour devenir adulte.

En dehors des Calopterygidae (Odonates) qui ont été identifiés exclusivement au cours de la mi-permanence des eaux, la plupart des taxons composant la communauté de macroinvertébrés des rivières étudiées ont été plus ou moins abondants au cours de toutes les périodes de permanence des eaux. Ainsi, certains taxons du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao peuvent être considérés comme des taxons clés. Les taxons clés sont des organismes dont leur perte provoquerait des changements importants dans la structure et le fonctionnement général des cours d'eau (Lévêque et Mounolou, 2008). Il s'agit des taxons d'occurrence élevée (% occurrence > 50%), abondants (plus de 100 individus) et ayant une faible variabilité inter-périodique. Dans les cours d'eau étudiés, 22 taxons peuvent être considérés comme taxons clés. Ce sont :

- dans l'ordre des odonates, les Coenagrionidae, Corduliidae, Gomphidae et Libellulidae ;
- dans l'ordre des Epheméroptères, les Baetidae et Leptophlebiidae ;
- dans l'ordre des Hétéroptères, les Corixidae, Gerridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Notonectidae et Veliidae ;
- dans l'ordre des Diptères, les Ceratopogonidae, Chironomidae, Culicidae, Muscidae et Syrphidae ;
- dans l'ordre des Coléoptères, les Dytiscidae, Elmidae, Hydrophilidae et Noteridae ;
- les Oligochètes.

III.2.5. Structure du peuplement et indices majeurs caractérisant les cours d'eau étudiés

La communauté des macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao est composée de 56 familles et 30891 individus. Cette composition est élevée comparativement à celle des cours d'eau permanents anthropisés des zones tropicales camerounaises et n'indique pas de prime abord un milieu impacté par les perturbations de l'homme. Et pourtant, l'indice de diversité de Shannon-Weaver obtenu lors de cette étude montre globalement que les cours d'eau étudiés sont des milieux azoïques très pollués incapables de soutenir une communauté d'invertébrés (Simbouras et Zenetos, 2002). En même temps, le ratio EPT/Chironomidae très élevé à toutes les périodes de permanence des eaux et dans toutes les stations montre à l'instar des variables physicochimiques mesurées des eaux oligotrophes, donc une pollution organique quasi nulle des deux rivières. Cependant, l'indice biotique de Hilsenhoff (HBI) montre qu'il existe de l'amont à l'aval et du début à la fin de l'écoulement des eaux une pollution organique allant de probable à grave dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao. Par ailleurs, la macrofaune

benthique des cours d'eau est dominée aussi bien dans l'espace que dans le temps par les taxons tolérants la pollution organique ainsi que par les collecteurs (rassembleurs et filtreurs) qui prolifèrent dans les milieux riches en fines particules de matières organiques (FPOM) en suspension dans l'eau ou déposées dans les sédiments (Palmer et *al.*, 1993 ; Cummins et *al.*, 2005). Ces observations montrent que l'approche taxonomique qui se focalise sur l'évaluation de la richesse taxonomique ou des indices d'intégrité biotiques (indice de Shannon-Weaver, indice de Pielou) pour quantifier les communautés aquatiques et estimer leur sensibilité aux perturbations (Poff et Zimmerman, 2010 ; Carlisle et *al.*, 2011) est insuffisante pour caractériser le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao, donc des écosystèmes aquatiques lotiques temporaires des plaines soudano-sahéliennes. L'approche taxonomique doit être appuyée par l'approche fonctionnelle qui, selon Cummins et *al.* (2005) est plus appropriée et sans doute plus rapide. Selon ces auteurs, l'analyse fonctionnelle des communautés d'invertébrés aquatiques réduit grandement l'effort nécessaire pour l'analyse taxonomique. Elle est basée sur la reconnaissance des caractéristiques morphologiques et comportementales des invertébrés se rapportant directement à leurs modes d'acquisition des aliments. Ceci rend cette technique particulièrement sensible aux impacts des activités menées dans le bassin versant, spécialement sur la végétation riveraine qui affecte le système fluvial (Cummings et *al.*, 2005). L'analyse fonctionnelle des communautés de macroinvertébrés benthiques réduit grandement l'effort requis pour l'analyse taxonomique (Karr et Chu, 1999).

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

Le but de la présente était d'évaluer les peuplements de macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao afin d'établir le niveau de perturbation de ces deux milieux aquatiques temporaires et de décrire leur fonctionnement écologique.

Les résultats des paramètres hydrologiques (notamment la hauteur maximale de la lame d'eau au moment de l'échantillonnage et la vitesse de l'eau) des cours d'eau étudiés révèlent le caractère instable de ces Mayos en rapport avec les variations de la pluviosité et du degré de marnage des cours d'eau. La hauteur maximale de la couche d'eau au moment de l'échantillonnage a permis de diviser la permanence des eaux en trois périodes : le début de permanence des eaux située au début de l'écoulement (fin juillet) et mi-août, la mi-permanence des eaux entre mi-août et mi-septembre et la fin de permanence des eaux de mi-septembre jusqu'à l'assèchement total des eaux (mi-octobre généralement). Le début et la fin de la permanence des eaux correspondent à des périodes de basses eaux alors que la mi-permanence des eaux correspond à la période des crues.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux des cours d'eau étudiés montrent leurs caractères oligotrophes malgré les rejets domestiques, agricoles et industriels provenant des activités anthropiques pratiquées dans les bassins versants. Toutefois, les effluents de la SODECOTON apportent des substances supplémentaires qui dégradent la qualité des eaux du Mayo Tsanaga. L'élimination rapide des matières organiques est effectuée grâce aux changements hydrologiques incessants qui favorise l'autoépuration des eaux et aussi grâce au phénomène de dérive des polluants conséquent aux débits du courant élevés après les pluies.

Les analyses en composantes principales effectuées à partir des variables physicochimiques mesurées ont également permis de définir la mi-permanence des eaux (située entre mi-août et mi-septembre) comme la période où les eaux sont les plus oxygénées.

Pour ce qui est de la biologie, les peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau temporaires étudiés présentent une grande diversité taxonomique. La plupart de ces organismes sont plurivoltins ou multivoltins, c'est-à-dire capables d'effectuer plusieurs cycles de développement et produire plusieurs générations au cours d'une année. Le multivoltinisme observé est favorisé par les températures des eaux toujours élevées au cours de la permanence des eaux. Au total 56 familles et 30891 individus appartenant aux Insectes, Annélides, Crustacés et Mollusques ont été identifiés durant la permanence des eaux dont la durée

incertaine est tributaire de la pluviosité, de l'infiltration et la longueur de l'assèchement. Seulement 8 familles n'ont pas été communes aux Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao et une différence significative a été observée entre le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao. Cette différence entre les deux milieux montre bien que ces cours d'eau temporaires s'écoulant dans la même zone écologique (la plaine de Diamaré), présentent chacun des particularités faunistiques propres. Ces particularités sont directement liées à l'intensité des activités humaines dans le bassin versant et à la couverture végétale riveraine.

La dynamique des populations étudiées met en exergue une variation d'abondance et de diversités entre les trois périodes de permanence des eaux liée à l'émergence des insectes à adultes aériens qui quittent l'eau pour accomplir leur cycle de vie terrestre.

L'examen de la composition du peuplement des macroinvertébrés benthiques de l'amont à l'aval de chaque cours d'eau et du début de l'écoulement permanent des eaux jusqu'à leur tarissement révèle l'importance de la végétation de bordure, de la température de l'eau et de l'hydrologie dans répartition des macroinvertébrés benthiques. La chimie de l'eau et de l'origine du polluant sont des facteurs accessoires de leur distribution.

L'utilisation de l'approche taxonomique et de l'approche fonctionnelle montre que l'approche taxonomique seule n'est pas adaptée pour décrire les communautés de macroinvertébrés du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao. Lors de l'étude de ces communautés biologiques, il faut utiliser les groupes fonctionnels alimentaires, l'indice biotique de Hilsenhoff, le pourcentage des taxons tolérants et le pourcentage des taxons intolérants à la matière organique qui sont meilleurs descripteurs pour la l'évaluation biologique des cours d'eau en zone soudano-sahélienne.

RECOMMANDATIONS

Les résultats de cette étude montrent que les macroinvertébrés benthiques peuvent être utilisés pour révéler l'état écologique des cours d'eau temporaires du Cameroun ouvrant ainsi de nouvelles perspectives quant à l'évaluation de la santé des écosystèmes lotiques à l'aide de bioindicateurs du Cameroun et à l'étude de la biodiversité des eaux temporaires.

Au vu des résultats de la présente étude, il est recommandé aux populations de la ville de Maroua qui utilisent les eaux du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao comme eau de boisson de pratiquer une technique de potabilisation de ces eaux à domicile avant leur consommation. La

technique recommandée est la méthode SoDis qui utilise les rayons solaires très abondants dans la région. Toutefois, la chloration et l'ébullition peuvent être aussi pratiquées en fonction des utilisateurs d'eau. Toutes ces méthodes doivent être précédées de la décantation qui élimine les matières en suspension, support de nombreux microbes.

PERSPECTIVES

De ce travail quelques perspectives peuvent se dégager. Il serait intéressant, afin de compléter cette étude d'étendre ce travail premièrement dans la zone de montagne très rocheuse où le Mayo Kaliao et le Mayo Tsanaga prennent leurs sources, deuxièmement à d'autres groupes zoologiques, principalement les bactéries et les parasites qui sont meilleurs indicateurs de la qualité microbiologique des eaux consommées par l'Homme.

Il faudrait ensuite étendre cette étude aux autres cours d'eau temporaires de la Région de l'Extrême Nord et de la région soudano-sahélienne, ce qui permettrait de mieux documenter la biodiversité des écosystèmes lotiques et d'établir le fonctionnement type des écosystèmes lotiques temporaires africains.

En outre, il va falloir s'appesantir sur les pièces buccales et le contenu intestinal des macroinvertébrés benthiques des eaux temporaires afin d'identifier leur adaptation due à l'instabilité de leur environnement et décrire leurs groupes fonctionnels alimentaires. De plus, il faudra s'intéresser aux cycles biologiques des organismes colonisant ces milieux aquatiques dans l'optique de mettre en exergue les modalités et les éléments de leur résistance pendant la longue saison sèche. Par ailleurs, il faudrait étendre l'analyse physicochimique à d'autres paramètres pour compléter les résultats obtenus dans le présent travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adandedjan, D., 2012.** *Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud Bénin : la Lagune de Porto-Novo et la Lagune Côtière.* Thèse unique en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 263p.
- Ajonina, A.S., 2014.** Impacts of climate variability and anthropogenic factors on composition, distribution and abundance of macroinvertebrates along the shores of River Ndongo, Buea (south-west region Cameroon). *International Journal of Current Microbiology and Sciences*, 3(9), 454-468
- Alhou, B., J.C. Micha, A. Dodo et A. Awaiss, 2009.** Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 3(2): 240-254.
- Allan J.D. et L.B. Johnson, 1997.** Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37: 107-111.
- American Public Health Association (APHA), 1998.** *Standard method for examination of water and wastewater.* 20th Ed., Washington DC.
- Amoros, C. et G.E. Petts, 1993.** *Hydrosystèmes fluviaux.* Collection d'écologie n° 24, Masson, Paris, 300 p.
- Angelier, E., 2000.** *Ecologie des eaux courantes.* Ed. TEC & DOC, 199p.
- Anonyme, 1984.** *Report of an informal consultation on research on the biological control of snails intermediate hosts,* TDR/VBC-SCH-SI, 3: 1-39.
- Anonyme, 1999.** *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau : Grilles de seuils par usage et fonction.* 1(B) : 23p.
- Anonyme, 2007.** *L'école buissonnière,* 40p
- Anonyme, 2012.** *Les métazoaires triploblastiques acoelomates : l'Embranchement des Annélides,* 14p.
- Armengol J., S. Sabater, A. Vidal et F. Sabater, 1991.** Using the rescaled range analysis for the study of hydrological records: the River Ter as an example. *Oecologia Aquatica*. 10: 21-33.

- Armitage P.D., R.J.M. Gunn, M.T. Furse, J.F. Wright et D. Moss, 1987.** The use of prediction to assess macroinvertebrate response to river regulation. *Hydrobiologia*, 144: 25-32.
- Armitage, P.D., D. Moss, J.F. Wright et M. Furse, 1983.** The performance of a new biological water quality score based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, **17**: 333-347.
- Arrignon, J., 1976.** *Aménagement écologique et piscicole des eaux douces*. Bordas, Paris, 320p.
- Banks, J.L. 2005.** *Influences of clearcut logging on macroinvertebrates in perennial and intermittent headwaters of the Central Oregon Coast Range*. M. S. Thesis, Oregon State University, Corvallis OR. 133p.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen , B.D. Snyder et J.B. Stribling , 1999.** *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, 2nd edition, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B-99-002, 11 chapitres, 4 annexes.
- Beche, L.A., E.P. McElravy et V.H. Resh, 2006.** Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean climate streams in California, U.S.A. *Freshwater Biology*, **51**: 56-75.
- Biram A Ngon E.B., S. Foto Menbohan, J. Ndjama, D.L. Nyame Mbia, B.R. Mboye, G.A. et Ajeegah, 2018.** Ecological factors and Dictyoptera (Blaberidae) association - benthic macroinvertebrates, in some forest streams in the Centre region of Cameroon. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 5(7): 235-246
- Bode, R.W., M.A. Novak, L.E. Abele, D.L. Heitzman et A.J. Smith, 2002.** *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York)*. Stream Biomonitoring Unit Bureau of Water Assessment and Management Division of Water, NYS Department of Environmental Conservation, 41p.+13 annexes.
- Bode, R.W., M.A. Novak et L.E. Abele, 1996.** *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State*. NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY, 89p.

- Bonada, N., M. Rieradevall et N. Prat, 2007.** Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589:91–106.
- Boni, Y.K., 2005.** *Biodiversité et écologie des mollusques Gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive Indoplanorbis exustus (Deshayes, 1834).* Thèse de Ph.D/Doctorat. LEBA, Université d'Abobo-Adjamè, 218 p.
- Borja A, Franco J et Perez V. 2000.** A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.
- Borrer, D.J. et R.E. White, 1999.** *Le guide des insectes du Québec et de l'Amérique du Nord*, Les guides Peterson, Québec, Canada.
- Boulton, A.J. et P. J. Suter, 1986.** *Ecology of temporary streams-an Australian perspective*, 313-327.
- Boulton, A.J. et P.S. Lake, 1992a.** The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. III. Temporal changes in faunal composition. *Freshwat. Biol.*, 27:123-138.
- Boulton, A.J. et Lake, P.S. 1992b.** Benthic organic matter and detritivorous macroinvertebrates in two intermittent streams in south-east Australia. *Hydrobiologia* 241: 107–118.
- Bournaud, M. et L. Cogérino, 1986.** Les microhabitats aquatiques des rives d'un grand cours d'eau : approche faunistique, *Annls Limnol.*, 22 (3) : 285-294
- Boutin, C., M. Boulal, M. Boulanouar, N. Coineau, A. Ghlala, D. Merzoug, M. Messouli, M. Yacoubi-Khebiza, 2011.** *Importance, dans les zones arides et semi-arides, de la Biodiversité des faunes aquatiques souterraines.* Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides, novembre 2009, Ouargla Algérie, 18p.
- Brabant, P. et M. Gavaud, 1985.** *Les sols et ressources en terres du Nord-Cameroun.* Carte et notice explicative n°103. MESRES-IRA, Yaoundé. ORSTOM, Paris, 285p
- Britain J.E. et S.J. Saltveit, 1989.** A review of the effect of river regulation on Mayflies. *Water Research*, 34(9): 2558-2568.

- Bryce, S.A, J.M. Omernik et D.P. Larsen, 1999.** Ecoregions: a geographic framework to guide risk characterization and ecosystem management. *Environmental Practice*, **1**: 141-155.
- Bureau Central des Recensements et des Etudes de Population (BUCREP), 2010.** *3e Rapport général de la population et de l'habitat (RGPH)*. Rapport de présentation des résultats définitifs, 65p.
- Camargo, J. A., A. Alonso et M. De La Puente, 2004.** Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded rivers based on benthic macroinvertebrates. *Environmental Monitoring and Publishers*, **96**: 233-249.
- Carlisle, D.M., Wolock, D.M. et M.R. Meador, 2011.** Alteration of stream flow magnitudes and potential ecological consequences: a multiregional assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* **9**:264–270.
- Castel, J., P.J. Labourg, V. Escaravage, I. Auby et M.E. Garcia, 1989.** Influence of seagrass beds and oyster parks on the abundance and biomass patterns of meio- and macrobenthos in tidal flats. *Easten Coastal Shelf Sciences*, **28**: 71-85.
- Cébron, A., 2004.** *Nitrification, bactéries nitrifiantes et émissions de N₂O. La seine en aval de Paris*. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, France, 290 p.
- Charvet, S., 1995.** *Les méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux basées sur les macroinvertébrés benthiques*. Rapport bibliographique. Diplôme d'Études Approfondies, Analyse et modélisation des systèmes biologiques. Université de Lyon I, 39 p.
- Chessman, B.C, 1995.** Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and biotic index. *Australian journal of ecology*. **20**:122-129.
- Christensen T. H., Kjeldsen P. et P.L. Bjerg, 2001.** Biogeochemistry of landfill leach at plumes. *Applied Geochemistry*, **16**: 659-718.
- Clarke, K.R. et R.M. Warwick, 1994.** *Changes in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation*. Natural Environment Research Council, London, 144 pp
- Colburn, E.A. et F. Brian, 2008.** *Temporary Waters*. Encyclopedia of Ecology, Oxford, Academic Press, 1st Ed, pp 3516-3527

- Comité de Valorisation de la Rivière Beauport (CRVB), 2006.** *Suivi de la macrofaune benthique : comparaison statistique d'outils d'identification des macroinvertébrés benthiques.* Rapport réalisé pour Environnement Canada, 56p.
- Cummins, K.W., 1975.** *Macroinvertebrates*, in Witthon, B.A. (eds), *River Ecology, Studies in Ecology* volume 2, Berkeley (Californie), University of California Press, pp. 170-198.
- Cummins, K.W. et M.J. Klug, 1979.** Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematic*, **10**: 147-172.
- Cummins, K.W. et B. Van-Deneden, 1996.** Procedures for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee River–floodplain ecosystem. *Florida Scientist*, **4**: 216–274.
- Cummins, K.W., R.W. Merritt et P.C.N. Andra, 2005.** The use of invertebrate functional group to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, **40**(1): 69-89.
- Dabbadie, L., 1992.** *Cultures intensives de micro algues sur lisier de porc : performances, contraintes, utilisations des biomasses.* Diplôme d'Agronomie Approfondie, Mention : Productions Animales. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 125p.
- Dajoz, R., 1982.** *Précis d'écologie*, 4e édition, Paris, Bordas, 503 p.
- Dajoz, R., 2000.** *Précis d'écologie*, 7e édition, Paris, Dunod, 615 p.
- Dauer, D.M., J.A. Ranasinghe et S.B. Weisberg, 2000.** Relationships between benthic community condition, water quality, sediment quality, nutrient loads, and land use patterns in Chesapeake Bay. *Estuaries*, **23**: 80–96.
- De Moor, I.J., J.A Day et F.C De Moor, 2002.** *Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa Volume 9: Diptera.* Prepared for the Water Research Commission, WRC Report No. TT 214/03, 210p.
- De Moor, I.J., J.A. Day et F.C De Moor, 2003a.** *Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa Volume 8: Insecta II. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera & Lepidoptera.* Prepared for the Water Research Commission, WRC Report No. TT 214/03, 219p.
- De Moor, I.J., J.A. Day et De Moor F.C, 2003b.** *Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa Volume 7: Insecta I. Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera.* Prepared for the Water Research Commission, WRC Report No. TT 214/03, 301p.

- De Moor, I.J., J.A. Day et F.C. De Moor, 2007.** *Guides for Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Vol. 10 : Coleopteran.* Prepared for the Water Research Commission, WRC Report No. TT 207/03, 275p.
- De Pauw, N. et G. Vanhooren, 1983.** Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*. **100** :153-168.
- Dejoux, C., 1988.** *La pollution des eaux continentales africaines. Expérience acquise situation actuelle et perspectives*, ORSTOM, Paris, 513p.
- Delucchi, C.M. et B. L. Peckarsky. 1989.** Life history patterns of insects in an intermittent and permanent stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **8** : 308-321.
- Deslous-Paoli, J.M., P. Souchu, N.Mazouni, C. Juge et F. Dagault ,1998.** Relations milieu-ressources : impact de la conchyliculture sur un environnement lagunaire méditerranéen (Thau). *Acta Oecologica*, **21**: 831-843.
- Devidal, S., C. Richard-Sirois, M.F. Pouet et O. Thomas, 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, 51p.
- Dieterich, M. 1992.** *Insect community composition and physico-chemical processes in summer dry streams of western Oregon.* Ph.D. thesis, Oregon State University, Corvallis OR, 191p.
- Dieterich, M. et N.H. Anderson, 1995.** Life cycles and food habits of mayflies and stoneflies from temporary streams in western Oregon. *Freshwater Biology*, **34**: 47-60.
- Diomandé, D. 2001.** *Macrofaune benthique et stratégies alimentaires de Synodontys batiani (Daget, 1948) et S. schall (Bloch & Schneider, 1801) (Bassins Bia et Agnébi; Côte d'Ivoire.* Thèse/Ph.D, Université d'Abobo-Adjamè, 243p.
- Diomandé, D., B. Y. Kotchi, E.O. Edia, K.F. Konan, V. Gourène, 2009.** Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, **35**(3): 368-377
- Djao, R., B. Kaoussiri, M. Abouna et A.M. Asanji, 2011.** *Guide pratique de la gestion d'une épidémie de choléra.* Ministère de la Santé Publique/SNV Cameroun. .

- Djoufack, V., 2011.** *Etude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI. Océan, Atmosphère.* Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I et Université de Bourgogne, 322p.
- Djuikom, E., 1998.** *Qualité bactériologique et physico-chimique des cours d'eau du réseau du Mfoundi à Yaoundé.* Thèse de Doctorat Troisième Cycle, Université de Yaoundé I, 165p.
- Douglas, J.S. et W.J. Mitsch, 2002.** A model of macroinvertebrate trophic structure and oxygen demand in freshwater wetlands. *Ecological Modelling*, **161** (2003), pp. 183–194.
- Duchaufour P., 1997.** *Abrégé de pédologie : sol, végétation et environnement.* 5ème édition. Masson, Paris, 291p.
- Dudley, W.D., 2006.** *The Biology of Temporary Waters.* Oxford, Oxford University Press, 1st Ed., 337p.
- Durand, J.R. et C. Levêque, 1981.** *Flore et Faune aquatiques de l'Afrique sahélosoudanienne,* ORSTOM: Tome II. Paris, 517p.
- Ebang Menye, D. 2004.** *Evaluation de la charge polluante organique et ses effets écologiques sur l'Ewoué, affluent de la rive gauche de la rivière Mfoundi à Yaoundé.* Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Cameroun ; 64p.
- Ebang Menye, D., S.H. Zébazé Togouet, S. Foto Menbohan, N. Kemka, M. Nola, C. Boutin, V.F. Nguetsop, D. Moussa et T. Njiné, 2014.** Bio-écologie des diatomées épilithiques de la rivière Mfoundi (Yaoundé, Cameroun) : diversité, distribution spatiale et influence des pollutions organiques. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 25(3), 203-218.
- Edia, O.E., 2008.** *Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire).* Thèse de Doctorat, Option : Ecologie et aménagement des écosystèmes aquatiques, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Appliquée, Université d'Abobo-Adjamè. 153p.
- Egnima, B.C.H., 2007.** **Structure des peuplements de Macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Nga.** Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I. 63p.
- Elouard, J.M., 1981.** *Diptères : caractères généraux, clés systématiques et familles peu importantes* In : Durand, J. R. & Lévêque, C. (Eds.), *Flore et Faune Aquatiques de de l'Afrique sahélosoudanienne.*

- Favet, C., 1981.** *Communautés ripicoles de la basse Durance*. Thèse de 3^e cycle, Aix-Marseille 3, 371p.
- Feminella, J.W., 1996.** Comparison of benthic macroinvertebrates assemblages in small streams along a gradient of flow permanence. *Journal of the North American Benthological Society*, **15**: 651–669.
- Foto Menbohan, S., 1989.** *Etude de la pollution de deux cours d'eau à Yaoundé : l'Abiérgué et le Mfoundi. Etude physico-chimique et biologique*, Thèse de Doctorat de troisième cycle, Université de Yaoundé I, Cameroun, 142p.
- Foto Menbohan, S., T. Njine, S. H. Zébazé Togouet, N. Kemka, M. Nola, A. Monkiedje et C. Boutin, 2006.** Distribution spatiale du zooplancton dans un réseau hydrographique perturbé en milieu urbain tropical (Cameroun). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle*, 142 : 53-62.
- Foto Menbohan, S., S.H. Zébazé Togouet, N.L. Nyamsi Tchatcho et T. Njiné, 2010.** Macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Nga : Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques. *European J. Scientific Res.*, 43(1): 96-106.
- Foto Menbohan, S., S.H. Zébazé Togouet, N.L. Nyamsi Tchatcho, A. Ajeegah Gideon et T. Njiné, 2011.** Evolution Spatiale de la Diversité des Peuplements de Macroinvertébrés Benthiques dans un cours d'eau Anthropisé en Milieu Tropical (Cameroun). *EuroJournals Publishing, Inc.*, 55(2) :291-300.
- Foto Menbohan, S., 2012.** *Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé : Essai de biotypologie*. Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I. Cameroun, 175 p + annexe.
- Foto Menbohan S., E. Koji, G.A. Ajeegah, C.F. Bilong Bilong et T. Njiné, 2012.** Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon. *International Journal of Biosciences*, 11: 137-145.
- Foto Menbohan, S., S. Tchakonte, G.A. Ajeegah, S.H. Zébazé Togouet, C.F Bilong Bilong et T. Njiné, 2013.** Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *International Journal of Biotechnology*, 2(5), 91-104.
- Galloway, J.N., J.D. Aber, J.W. Erisman, S.P. Seitzinger, R.W. Howarth, E.B. Cowling et B.J. Cosby, 2003.** The nitrogen cascade. *Biosciences*, 53:341-356.

- Genin, B., C. Chauvin et F. Menard, 1997.** *Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes IBGN.* Dijon, ENESA-CNERTA, 202 p.
- GIZ, 2013.** *Rapport de l'étude sur la vulnérabilité des communes de la Région de l'extrême-nord aux effets du changement climatique,* 106p.
- Grall, J et M. Glémarec, 1997.** Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Est. Coastal Shelf Science*, **44**: 43-53.
- Grassé, P.P. et D. Doumenc, 1993.** *Zoologie I : Invertébrés.* 4ème Edition, Masson 178-180 p.
- Guérault, D., D. Dorel et Y. Désaunay, 1996.** *Cartographie des nourriceries littorales de poissons du Golfe de Gascogne.* Rapport IFREMER; Contrat Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation 95-II-01-02, 150p.
- Haouchine, S. 2011.** *Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie.* Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou, 157p.
- Hébert, S., 1997.** *Développement d'un indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec.* Québec, Ministère de L'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° En/970102, 20 p, 4 annexes.
- Hébert, S. et S. Légaré, 2000.** *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau,* Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, envirodoq n°ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Hedin, L.O., J.J. Armesto et A.H. Johnson, 1995.** Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology*, 76: 493-509.
- Heller, J., 1993.** Hermaphroditism in mollusks. *Biological Journal of the Linnean Society*, 48: 19-42.
- Hellawell, J.M., 1986.** Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. *Elsevier*, London, 546 p.
- Hicks, B.J., 2002.** *Macroinvertebrates and water quality: a teaching guide. Prepared for the Biotin teachers' evening.* Hamilton, New Zealand: Centre for Biodiversity and Ecology

Research, Department of Biological Sciences, The University of Waikato. CBER Contract

Hilsenhoff, W. L., 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. *Great Lakes Entomol*, **20**: 31-39.

Hilsenhoff, W.L, 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **7**(1) : 65-68.

Hily, C., 1984. *Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest.* Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Bretagne Occidentale, 359p.

Howarth, R.W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsed, N. Jaworsky, K. Lajtha, J. Downing A., R. Elmgren, N. Caraco, T. Jordan., F. Berendse, J. Freney, V. Kudeyarov, P. Murdoch et Z. Zhao-Liang, 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influence. *Biogeochemistry*, **35**:181-226.

Huang J. Y. C. et D.J. Wosniak, 1981. Nitrogen transformation in streams. *The Journal of Environmental Sciences*, 41-45.

Huet, M., 1949. Aperçu des relations de la pente et des populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z; Hydrol.*, **II** (3-4) : 332-351.

Huet M., 1979a. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Revue Suisse d'Hydrologie*, vol. XI, fasc. ¾ : 332-351.

Huet M., 1979b. Appréciation de la valeur piscicole des eaux douces. *Groenendaal*, 55p.

Hynes, H. B. N., 1970. *The Ecology of Running Waters, Toronto.* University of Toronto, 555p.

Hynes, H.B.N., 1975. The stream and its valley. *Verhandlungen des Internationalen Verein. Limnologie*, **19**: 1-15.

Hynes, H.B.N., 1983. Groundwater and stream ecology. *Hydrobiologia*, **100**:93-99.

Illies, J. et L. Botosaneanu, 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérée surtout du point de vue faunistique. *Mitt. int. Ver. Limnol.*, **12**: 1-57.

Iyébi-Mandjek, O. et C. Seignobos, 2000. Hydraulique villageoise - Les « biefs » dans les monts mandara, Bilan des programmes *In Atlas de la province de l'Extrême nord-Cameroun*, Planche 26, 16p.

- Jenkins, R.A., K.R. Wade et E. Pugh, 1984.** Macroinvertebrate-habitat relationship in the River Teifi catchment and the significance to conservation. *Freshwat. Biol.*, **14** (1): 23-42.
- Karr, J.R. et E.W. Chu, 1999.** *Restoring life in running water : better monitoring.* Washington, DC: Island Press.
- Kemka N., S.H. Zébazé Togouet, R.P. Djogo Kenfack, M. Nola, S. Foto Menbohan et T. Njiné, 2009.** Dynamic of phytoplankton size-class and photosynthetic activity in a tropical hypereutrophic lake: Municipal Lake (Cameroon). *Hydrobiologia*, 625: 91 – 103.
- Kershner, J.L., W.M. Snider, D.M. Turner et P.B. Moyle, 1992.** Distribution and sequencing of mesohabitats: are there differences at the reach scale? *Rivers*, 3: 179-190.
- Khalaf, G., 1975.** *Utilisation des substrats artificiels en eau courante pour l'étude de la répartition et de la dynamique de la colonisation des macroinvertébrés benthiques.* Thèse de 3^e cycle, Lyon 1, 91p.
- Kiampi Choffo, C. 2004.** *Ampleur de la pollution du Mingoa par les eaux usées domestiques, et réponse des organismes du milieu.* Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Cameroun, 58p.
- Klemm, D.J., P.A. Lewis, F. Fulk et J.M. Lazorchak, 1990.** *Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters, Cincinnati (Ohio).* U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental monitoring systems laboratory, EPA/600/4-90/030, 256 p.
- Koji, E., 2011.** *Impact du barrage de la Mefou sur la qualité de son cours supérieur : Diversité et dynamique des peuplements des macroinvertébrés benthiques.* Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 57 p.
- Koubra, G., 2016.** *Etude de l'impact du changement climatique par la modélisation hydrologique : cas de cinq sous bassins au Burkina Faso.* Mémoire pour l'obtention du master d'Ingénierie en Génie Civil et Hydraulique, Fondation 2IE, 71p.
- L'hôte, Y. 1999.** *Climatologie in Atlas de la province Extrême Nord Cameroun, Planche 2.* République du Cameroun, Ministère de la Recherche Scientifique et de la Technologie/Institut national de cartographie, 32p.
- Leclercq, L., 2001.** *Les eaux courantes : caractéristiques et moyens d'étude dans les zones humides.* Actes des colloques organisés en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne

dans le cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides, Jambes, Région Wallonne, DGRNE, 67-82.

Lecointre, G. et H. LeGuyader, 2001. *Classification phylogénétique du vivant*. Edition Belin, 231 p.

Lefèvre, R., 1971. *Mesures de l'inféro-flux du Mayo Tsanaga*. Yaoundé, 21p. + 10 graphes.

Lefèbvre, S., 2003. *Interface eau-sédiments des cours d'eau en région agricole : rôle dans les cycles biogéochimiques*. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, 288 p.

Legendre, P et L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Second edition, Elsevier, Amsterdam, 853p.

Leroux, L. 2012. *Apport de la géomatique à la caractérisation du bassin versant du Mayo-Tsanaga en vue d'une modélisation des flux hydrologiques*. Avis de soutenance de Mémoire de fin d'études, Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du paysage, Université Rennes 2.

Lévêque, C. et J.C.Mounolou, 2008. *Biodiversité : dynamique biologique et conservation*. Dunod, Paris, 2^e édition, 247p.

Levick, L., J. Fonseca, D. Goodrich, M. Hernandez, D. Semmens, J. Stromberg, R. Leidy, M. Scianni, D.P. Guertin, M. Tluczek, and W. Kepner, 2008. *The Ecological and Hydrological Significance of Ephemeral and Intermittent Streams in the Arid and Semi-arid American Southwest*. U.S. Environmental Protection Agency and USDA/ARS Southwest Watershed Research Center, EPA/600/R-08/134, ARS/233046, 116p.

Leynaud, G., 1968. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. *B. T. I. Ministère de l'Agriculture*, 224 : 857 – 881.

Liéno G, 2007. *Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun*. Thèse de Doctorat Ph/D, Université de Yaoundé I, 486p.

Llanso, R.J., L.C. Scott, D.M. Dauer, J.L. Hyland et D.E. Russell, 2002. An estuarine benthic index of biotic integrity for the Mid-Atlantic Region of the United States. I. Classification of assemblages and habitat definition. *Estuaries*, **25**: 1219-1230.

Mackay, R.J., 1975. Aquatic insect communities of a small stream on Mt Saint Hilaire (Québec). *J. Fish. Res. Board. Can.*, **26** (5): 1157-1183.

- Macneil, C.N., J.T. Dick, A. Bigsby, R.W. Elwood, W.I. Montgomery, C.N. Gibbin et D.W. Kelly, 2002.** The validity of the Gammarus *Asellus*, ratio as an index of organic pollution: abiotic and biotic influences. *Water research*, 36 (1): 75-84.
- Malavoi, J.R. et Y. Souchon, 2002.** Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : Clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 365/366: 357-372
- Mandaville, S.M. 2002.** *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols*. 128p.
- Margalef, R., 1958.** Information theory in ecology, *Gen. Syst.*, 3: 36-71.
- Martoja, M., 1995.** *Mollusques*. Institut Océanographique, 179p.
- Mathuriau C. 2002.** *Les macroinvertébrés des cours d'eau andins du Sud-est de la Colombie : écologie et bioindication*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 309p.
- Mazzacano, C. et S. Hoffman Black, 2008.** *Aquatic Using Aquatic Macroinvertebrates as Indicators of Stream Flow Duration*. The Xerces Society for Invertebrate Conservation, Portland OR, 33p.
- Meffe, G.K. et C.R. Carroll, 1997.** *Principles of Conservation Biology*. Second edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 729p.
- Merrit, R.W. et K.W. Cummins, 1996b.** *Trophic of relations of macroinvertebrates*. In: Hauer FR, Lamberti GA, editors. *Methods in stream ecology*. *Academic Press*: San Diego, 453-474.
- Merritt, RW, K.W. Cummins, M.B. Berg, J.A. Novak, M.J. Higgins, K.J. Wessel et J.L. Lessard, 2002.** Development and application of a macroinvertebrate functional-group approach in the bioassessment of remnant river oxbows in southwest Florida. *Journal of the North American Benthological Society*, **21**(2): 290–310.
- MIDIMA, 2009.** *Rapport final du bilan diagnostic 2008-2009, en vue de l'actualisation du Schéma Directeur Régional d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire (SDRADDT) de la Région de l'Extrême-Nord réalisé en 2001*
- Ministère de l'Economie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT)/PNUD-Cameroun, 2010.** *Rapport régional de progrès des objectifs du millénaire pour le développement*, 34p.

- Ministère de la Santé Publique (MINSANTE)/SNV-Cameroun, 2011.** *Guide pratique de la gestion d'une épidémie de choléra.*
- Ministère de la santé du Cameroun (MINSANTE), 2013.** *Données choléra 1994-2013.* 24p.
- Minshall, G.W., R.C. Petersen, K.W. Cummins, T.L. Bott, J.R. Sedell, C.C. Cushing et R.L. Vannote, 1983.** Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs*, 53: 1-25
- 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, 89p
- Moisan, J., 2010.** *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés 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, 89p.
- Moisan, J. et L. Pelletier, 2008.** *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, ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.
- Moisan, J. et L. Pelletier, 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, 39p.
- Morel, J., 2007.** *Les ressources en eau sur terre: origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique- un tour d'horizon de la littérature.* Grenoble: CRNS, Cahier de recherche, N°2, 29p.
- Morin, S., 2000.** *Géomorphologie.* In *Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun*, planche 1. Yaoundé (CMR) ; Paris : MINREST/IRD, 7-16.
- Morrissey, D.J., A.J. Underwood, L. Howitt et J.S Stark, 1992.** Temporal variation in soft-sediment benthos.
- Mouthon, J., 2001.** *Les Mollusques dulcicoles. Données biologiques et écologiques ; Clés de détermination des principaux genres de Bivalves et de Gastéropodes de France.*

Laboratoire d'Hydroécologie du CEMAGREF - Institut des Sciences Naturelles, Place Leclerc – 25030 Besançon cedex.

- N'goran, E.K., 1997.** *Biodiversité, Transmission et épidémiologie de Schistosoma haematobium, Bilharz, 1852 et des Schistosomes apparentés en Côte d'Ivoire.* Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 166p.
- Nangmo, J.B, 2004.** *Evaluation de la Qualité des eaux de l'Ekooza par utilisation des composantes physico-chimiques et biologiques du milieu.* Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Cameroun, 47p.
- Newbold, J.D., 1992.** *Cycles and spirals of nutrients. The rivers Handbook*, Calow P. and Petts G. E. Eds., Blackwell Scientific Publications, Oxford, 379-408.
- Nisbet, M. et J. Verneaux, 1970.** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, fasc, 2 : 161-190.
- Njiné, T., 1977.** Contribution à la connaissance des ciliés libres du Cameroun. Ecologie – Cytologie I. Etudes écologiques. *Annales de la station de Besse-en-Chandesse*. 11: 357 – 363.
- Nola, M., 1996.** *Peuplement bactérien des eaux souterraines de Yaoundé (Cameroun) : bioindicateurs et pathogènes opportunistes.* Thèse de doctorat 3^e cycle, Université de Yaoundé I, 135p.
- Nola, M., T. Njiné, A. Monkedje et R. Tailliez, 1999.** Approche colimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie-Hygiène Alimentaire*, **11**(31): 9-14.
- Nouvelot, J.F., 1973.** *Hydrologie des mayos du Nord Cameroun.* Cahiers ORSTOM. **10**(3) : 211-303.
- Novotny, V., Y. Basset, S.E. Miller, G.D. Weiblen, B. Bremer, L. Cizek et P. Drozd, 2002a.** Low host species city of herbivorous insects in a tropical forest. *Nature*, **416**: 841–844.
- Novotny, V., S.E. Miller, Y. Basset, L. Cizek, Drozd P, K. Darrow et J. Leps, 2002b.** Predictably simple: assemblages of caterpillars (Lepidoptera) feeding on rainforest trees in Papua New Guinea. *Royal Society*, **269**: 2337–2344.

- Nugues, M.M., M.J. Kaiser, B.E. Spencer et D.B. Edwards, 1996.** Benthic community change associated with intertidal oyster cultivation. *Aquaculture Resources*, **27**: 913-924.
- Nyamsi Tchatcho, N.L., 2004.** *Effets des rejets d'une usine de traitement de la cellulose sur la qualité des eaux du Ntsomo: Etude biologique et hydrologique du cours d'eau.* Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Cameroun; 58 p.
- Nyamsi Tchatcho, N.L., S. Foto Menbohan, S.H. Zébazé Togouet, F.M. Onana, D. Adandedjan, S. Tchakonté, C. Yémélé Tsago, E. Koji et T. Njiné, 2014.** Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) pour l'Evaluation Biologique de la Qualité des Eaux des Cours D'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, **123** (4):412-430.
- Odum, E. P., 1959.** *Fundamentals of ecology.* 2nd Edition, saunders ed., Philadelphia, 546p.
- Ohio EPA, 2002.** *Field Evaluation Manual for Ohio's Primary Headwater Streams.* Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Water, Columbus OH, 66p.
- Olivry J.C. et E. Naah, 2000.** *Hydrologie. In Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun, Seignobos C., Iyébi-Mandjek O. (ed.),* planche 3, Yaoundé (CMR) ; Paris : MINREST ; IRD, 7-16. ISBN 2-7099-1444-1
- Olivry, J.C., 1986.** Fleuves et rivières du Cameroun. *Monographies hydrologiques,* Mesres/Orstom **9**, 733 p.
- Onana, F.M., S.H. Zébazé Togouet, N.L. Nyamsi Tchatcho, H.B. Domche Teham, Ngassam, 2014.** Impact of anthropogenic activities on water quality and freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *J. Bio. & Env. Sci.* 4(2): 183-194.
- Onana, F.M., S.H. Zébazé Togouet, B.S. Dassié Djomo, S.C. Nna, N. Mvondo et P. Ngassam, 2015.** Impact de l'effluent du Complexe Chimique Camerounais (CCC) sur la structure du peuplement de macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau tropical urbain (Douala, Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, **121**(3) : 298-309.
- Onana, F.M., 2016.** *Typologie et qualité biologique des cours d'eau du réseau hydrographique du Wouri basées sur les assemblages de zooplancton et de macroinvertébrés benthiques.* Thèse de Doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé I, 202p.
- ONEMA, 2012.** *Les typologies des cours d'eau in. Des étapes et des outils,* Chapitre 4, 4p.

- OREE, 2009.** *Colloque Biodiversité et Climat avant et après Copenhague*. Paris: Orée, Hors-série, 18p.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2006.** *Directives de qualité de l'eau de boisson*. Vol. 1, 3è Edition, OMS, Genève, 110 p.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2010 :** Rapport annuel. Bureau pays du Cameroun. www.afro.who.int/omscam
- Organisation Mondiale de la Santé. (OMS), 2011.** Lutte contre l'épidémie de choléra à Yaoundé et dans la région du centre. Bureau pays du Cameroun. Santé au quotidien N° 66.
- Palmer, C., J. O'Keeffe, A. Palmer, T. Dunne et Radloff S. 1993.** Macroinvertebrate functional feeding groups in the middle and lower reaches of the Buffalo River Eastern Cape, South Africa. I. Dietary variability. *Freshwater Biology*, 29: 441–453.
- Pèrès, J.M., 1976.** *Précis d'océanographie biologique*. Collection supérieure, 246p.
- Peters, W.L. et I.C. Campbell, 1991.** *Chapter 16: Ephemeroptera (Mayflies)*. . In: The Insects of Australia. (2nd ed.) Vol. 1. CSIRO Australia: 279-293.
- Piélou, E.C., 1966.** The measurement of diversity in different type of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Plafkin, J.L., M.T Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross et R.M Hughes, 1989.** *Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. 8 chapters, Appendices A-D.
- Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE), 2009.** *Etat des lieux du secteur. Cadre législatif, réglementaire, institutionnel et ressources humaines*. Ministère de l'Énergie et de l'Eau. Global Water Partnership.
- Poff, N.L. et J.K.H. Zimmerman, 2010.** Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55:194–205.
- Pourriot, R. et C. Rougier, 1997.** Taux de reproduction en fonction de la concentration en nourriture et de la température chez trois espèces du genre *Brachionus* (Rotifères). *Annales de Limnologie*, 33: 23 – 31.

- Pourriot, R., J. Capblancq, P. Champet et J.A. Meyer, 1982.** *Ecologie du plancton des eaux continentales*. Masson, Paris, 197p.
- Pringle, C.M., R.J. Naiman, G. Bretschko, J.R. Karr, M.W. Oswood, J.R. Webster, R.L. Welcomme et M.J. Winterbourn, 1988.** Patch dynamics in lotic systems: The stream as a mosaic. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**(4):503-524
- Pringle, C.M. et A. Ramirez, 1998.** Use of both benthic and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrate communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. *Freshwater Biology*, **39**: 359-373.
- Qiu, Z., 2013.** Comparative Assessment of Stormwater and Nonpoint Source Pollution Best Management Practices in Suburban Watershed Management. *Water*, **5** : 280-291.
- Ramade, F., 2005.** *Eléments d'Ecologie: Ecologie appliquée*. 6^e édition, Dunod, Paris. 864 p.
- Report*, **18**:1-11.
- Resh, V.H., R.H. Norris et M.T. Barbour, 1995.** Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Aust. J. Ecol.*, **20** : 108-121.
- Reynoldson , T.B., C. Logan, T. Pascoe et S.P. Thompson, 2003.** *Manuel de Terrain et de Laboratoire de Biosurveillance d'Invertébrés*. Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, 49p.
- Rhée, G. Y. et I.J. Gothan, 1981.** The effect of environmental factors on phytoplankton growth. Temperature and interactions of temperature with nutrient limitation. *Limnology Oceanography*, **26**: 635-648.
- Rodier, J., B. Legube, N. Marlet et R. Brunet, 2009.** *L'analyse de l'eau*. 9^e édition, DUNOD, Paris, 1579p.
- Romani, A.M et S. Sabater, 1999.** Epilithic ectoenzyme activity in a nutrient-rich Mediterranean river. *Aquat. Sci.*, **61**: 122-32.
- Rosenberg, D.M. et V.H. Resh, 1993.** *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York, 488 p.
- Sabater, S. et F. Sabater, 1992.** Longitudinal changes of benthic algal biomass in a Mediterranean river during two high production periods. *Archiv fur Hydrobiologie*, **124**: 475-487.

- Schriever, T.A., T. Bogan, M. Boersma, K.S. Cañedo-Argüelles, M. Jaeger, K.L. Olden, D.A. Lytle, 2015.** Hydrology shapes taxonomic and functional structure of desert stream invertebrate communities. *Freshwater Science*, **34**(2), 399-409.
- Seignobos, C. et O. Iyebi-Mandjek, 2000.** *Atlas de la province de l'extrême nord-Cameroun*. Éditions de l'IRD. Ministère de la Recherche Scientifique et Technique/ Institut National de Cartographie, 172p.+ 39 planches
- Simboura, N. et A. Zenetos, 2002.** Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Science*, **3**(2), 77-111.
- Slàdecek , 1973.** System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **7**, I-IV: 1-218.
- Slootweg, R., E.A. Malek et F.S. McCullough, 1993.** The biological control of snail intermediate hosts of schistosomiasis by fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **3**: 33-56.
- Smogor, R.A. et P.L. Angermeier, 1999.** Effects of drainage basin and anthropogenic disturbance on relations between stream size and IBI metrics in Virginia. In : Simon T. P. (Ed.), *assessment Approaches for Estimating Biological Integrity Using Fish Assemblages*. Lewis Press, Boca Raton, FL, U.S.A., 249-272.
- Stanley, E.H. et S. G. Fisher, 1992.** Intermittency, disturbance, and stability in stream ecosystems, p. 271-280. In: R. D. Robarts and M. L. Bothwell (eds.). *Aquatic ecosystems in semi-arid regions: implications for resource management*. NHRI Symposium Series 7, Environment Canada, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Stark J. D., Boothroyd K.G., J.S. Harding, J.R. Maxted et M.R. Scarsbrook, 2001.** *Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams*. New Zealand Macroinvertebrates working group, report no. 1, Ministry for the Environment, 57p.
- Statzner, B., S. Dolédec et B. Hugueny, 1998.** Biological trait composition of European stream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filter types. *Ecography*, **27**: 470–488.
- Suchel, 1987.** *Les climats du Cameroun*. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux III, 4, 188p.

- Szpila, K. 2010.** *Key for identification of European and Mediterranean blowflies (Diptera, Calliphoridae) of forensic importance Third instars.* Nicolaus Copernicus University Institute of Ecology and Environmental Protection, Department of Animal Ecology, 14p.
- Tachet, H., P. Richoux, M. Bourneau et P. Richoux. 1987.** *Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique), 3^{ème} édition,* 151p.
- Tachet, H., P. Richoux, M. Bournaud et P. Usseglio-Polatera, 2006.** *Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie et écologie.* CNRS édition, Paris. 588p.
- Tchakonté', S., G.A. Ajeegah, D. Diomandé, I.A. Camara, K.M. Konan et P. Ngassam, 2014a.** Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* **4**: 183–194.
- Tchakonté', S., G.A. Ajeegah, D. Diomandé, I.A. Camara et P. Ngassam, 2014b.** Diversity, dynamic and ecology of freshwater snails related to environmental factors in urban and suburban streams in Douala-Cameroon (Central Africa). *Aquatic Ecology*, **48**: 379–395.
- Tchakonté, S., G.A Ajeegah, A.I. Camara, D. Diomandé, N.L. Nyamsi Tchatcho et P. Ngassam, 2015.** Impact of urbanization on aquatic insect assemblages in the coastal zone of Cameroon: the use of biotraits and indicator taxa to assess environmental pollution. *Hydrobiologia*, **749**, 23p.
- Tomanova S., E. Goitia et J. Helesic, 2006.** Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, **556**: 251–264.
- Touzin, D., 2008.** *Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec.* Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval Canada. Thèse d'Ingénieur Agronome. 40p.
- Triantafyllou, G., G. Petihakis, C. Dounas, D. Koutsoubas, C. Arvanitidis et A. Eleftheriou, 2000.** Temporal variations in benthic communities and their response to physicochemical forcing: a numerical approach. *ICES Journal of Marine Science*, **57**: 1507-1516.
- Tuffery, G., 1980.** *Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes ; Révélateurs biologiques de la pollution.* In : P. Pesson (édition), La pollution des eaux continentales ; Incidence sur les biocénoses aquatiques, Paris, Bordas, 243-280.

- Uimonen-Simola, P. et K. Tolonen, 1987.** Effects of recent acidification on Cladocera in small clear-water lakes studied by mean of sedimentary remain. *Hydrobiologia*, **145**: 343-351.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1997.** *Field and Laboratory Methods for Macroinvertebrate and Habitat Assessment of Low Gradient Nontidal Streams*. Mid-Atlantic Coastal Streams Workgroup, Environmental services division, region 3, wheeling, WV; 23 p. + annexes.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2002.** *Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs*, United States Environmental Protection Agency, EPA 822-F-02-006.
- Van Der Zon, 1992.** Graminées du Cameroun, vol I, Phytogéographie et Pâturages, Wageningen Agricultural University Papers, 86p.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell et C.E. Cushing, 1980.** The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**: 130-137.
- Verneaux, J., 1973.** *Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie*. Thèse d'Etat, Besançon : 257
- Vervier, P., J. Gibert, P. Marmonier et M. Dole-Olivier, 1992.** A perspective on the permeability of the surface freshwater-groundwater ecotone. *Journal of North American Benthological Society*, **11**:93-102.
- Voelz, N.J. et J.V. McArthur, 2000.** An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation*. 9: 1543-1570.
- Wallace, J.B., S.L. Eggert, J.L. Meyer et J.R. Webster, 1999.** Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem. *Ecological Monographs*, **69**: 409–442.
- Ward, J.V. et J.A. Stanford, 1983.** The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: *Dynamic of lotic ecosystems* (Fontaine T.D., Bartell S.H., Eds.) Science Publisher. Michigan, 29-42.
- Ward, J.V., 1989.** The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, **8**: 2-8.
- Woodcock T.S. et A.D. Huryn, 2007.** The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, **52**: 177-196.

- Washington, H.G., 1984.** Diversity, biotic, and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18(6) : 653-694.
- Wasson, J.G., 1989.** *Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes : I. Revue critique de quelques approches existantes.* CEMAGREF-Division de la qualité des eaux, pêche et pisciculture, Laboratoire d'hydroécologie quantitative, 20p.
- Williams, D.D. 1987.** The ecology of temporary waters. *Timber Press*, Portland OR, 205 pp.
- Woodcock, T.S. et A.D. Huryn, 2007.** The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, **52**: 177-196.
- World Conservation Monitoring Centre (WCMC), 1992.** *Global Biodiversity. Status of the Earth's living resources.* Chapman & Hall (Londres): XIX + 585 p.
- Xue H., L. Sigg et R. Gächte, 2000.** Transport of Cu, Zn and Cd in a small agricultural catchment. *Water Research*, **34**(9): 2558-2568.
- Yaméogo, L., V.H. Resh et D.H. Molyneux, 2004.** Control of rivers blindness in West Africa: Case history of biodiversity in a disease control program. *EcoHealth*, **1**: 172-183.
- Ywoung, L.G.P, 2004.** *Etude biologique du cours d'eau Tongolo, affluent du cours Supérieur du Mfoundi en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des eaux.* Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, 47p.
- Zébazé Togouet, S.H., 2000.** *Biodiversité et dynamique des populations zooplanctoniques (ciliés, rotifères, cladocères, copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun).* Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, Université de Yaoundé I Cameroun, 175 p + annexe.
- Zébazé Togouet, S. H., T. Njine, N. Kemka., M. Nola, S. Foto Menbohan, D. Niyitegeka, P. Ngassam et C. Boutin, 2006.** Composition et distribution spatio-temporelle des protozoaires ciliés dans un petit lac hypereutrophe du Cameroun (Afrique Centrale). *Revue des Sciences de l'Eau*, **19** : 151-162.
- Zébazé Togouet, S. H., T. Njine, N. Kemka., M. Nola, S. Foto Menbohan.,W. Koste, C. Boutin et R. Hochberg, 2007.** Spatio-temporal changes in the abundance of the populations of the gastrotrich community in a shallow lake of tropical Africa. *Limnologica*, **37** : 311–322

Zébazé Togouet, S. H., 2011. *Zooplankton et eutrophisation d'un lac en zone tropicale.*
Edition Universal European Publisher, Berlin, Sarrebruck, 200 p.

Zelinka et Marvan, 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit
fliessender. *Arch. Hydrobiol.*, **57**: 389-407.

TABLE DES MATIERES

Dédicace	I
Remerciements	II
Sommaire.....	V
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux	XI
Liste des annexes	XIII
Résumé	XIV
Abstract.....	XVI
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	6
I.1. Ecosystèmes lotiques et leur fonctionnement	7
I.1.1. Hydrosystème fluvial	7
I.1.2. Fonctionnement écologique des écosystèmes lotiques	8
I.1.3. Zonations écologiques et typologiques des cours d'eau	8
I.1.3.1. Zonation amont-aval	9
I.1.3.1.1. River Continuum Concept (RCC) de Vannote et <i>al.</i> (1980)	9
I.1.3.1.2. Zonation écologique de Illies et Botosaneanu (1963)	10
I.1.3.2. Types de microhabitats.....	12
I.1.3.2.1. Microhabitats d'érosion.....	12
I.1.3.2.2. Microhabitats de sédimentation.....	12
I.1.3.2.3. Microhabitats de végétation	13
I.1.4. Évaluation de la qualité de l'habitat des macroinvertébrés benthiques	13
I.1.5. Notion de cours d'eau temporaires	13
I.1.6. Principales méthodes d'étude des cours d'eau : notion de surveillance écologique	15
I.1.6.1. Méthodes physicochimiques	15
I.1.6.1.1. Température.....	16
I.1.6.1.2. pH.....	17
I.1.6.1.3. Conductivité électrique.....	17
I.1.6.1.4. Orthophosphates	17
I.1.6.1.5. Formes d'azote	17
I.1.6.2. Méthodes biologiques	18

I.2. Macroinvertébrés benthiques en tant que bioindicateurs et écologie des eaux courantes .	20
I.2.1. Définition	20
I.2.2. Eléments d'écologie et de biologie des macroinvertébrés benthiques.....	21
I.2.2.1. Mollusques	21
I.3.2.2. Annélides.....	22
I.3.2.3. Crustacés	23
I.3.2.4. Insectes	24
I.2.3. Macroinvertébrés benthiques des cours d'eau temporaires	25
I.2.4. Modes d'alimentation des organismes benthiques	26
I.2.5. Intérêt de l'étude de la macrofaune benthique : macroinvertébrés et pollution.....	27
I.2.6. Aperçu sur les invertébrés aquatiques des cours d'eau temporaires au Cameroun .	28
I.2.7. Macrofaune benthique et intégrité biologique	29
I.2.7.1. Méthodes d'analyse avec variables simples.....	30
I.2.7.1.1. Richesse taxonomique	30
I.2.7.1.2. Diversité taxonomique.....	30
I.2.7.1.3. Composition taxonomique.....	31
I.2.7.1.4. Tolérance ou intolérance à la pollution	32
I.2.7.2. Méthodes d'analyse multivariée	32
I.2.7.3. Méthodes d'analyse multimétrique	33
I.2.8. Qualité de l'habitat et l'intégrité biologique	33
I.2.8.1. Indices de Qualité de l'Habitat (IQH)	34
I.2.8.2. Indice de Qualité de Bande Riveraine (IQBR).....	34
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	35
II.1. Considérations générales sur la zone d'étude	36
II.1.1. Localisation et situation géographique	36
II.1.2. Climatologie	36
II.1.2.1. Précipitations	37
II.1.2.2. Température de l'air.....	37
II.1.3. Géomorphologie et types de sols.....	38
II.1.4. Relief et Hydrographie	39
II.1.5. Couvert végétal.....	40
II.1.6. Saison sèche et écoulement des eaux	41
II.2. Site d'étude, période d'étude et description des stations d'étude	41
II.2.1. Site d'étude	41

II.2.2. Période d'étude	42
II.2.3. Description des stations de prélèvement	42
II.2.3.1. Description des stations du Mayo Tsanaga.....	44
II.2.3.1.1. Station MT1	44
II.2.3.1.2. Station MT2	45
II.2.3.1.3. Station MT3	46
II.2.3.1.4. Station MT4	46
II.2.3.1.5. Station MT5	47
II.2.3.1.6. Station MT6	47
II.2.3.2. Stations du Mayo Kaliao.....	48
II.2.3.2.1. Station MK1	48
II.2.3.2.2. Station MK2	49
II.2.3.2.3. Station MK3	49
II.2.4. Perturbations anthropiques dans la plaine de Diamaré.....	50
II.2.4.1. Pollution industrielle.....	50
II.2.4.2. Pollution urbaine.....	51
II.2.4.3. Pollution agricole.....	52
II.2.4.4. Pollution mécanique.....	53
II.3. Méthodologie	53
II.3.1. Méthode d'analyse physicochimique	53
II.3.1.1. Prélèvement des échantillons d'eau et fréquence	53
II.3.1.2. Technique d'analyse physicochimique.....	54
II.3.1.2.1. Mesures in situ	54
II.3.1.2.2. Mesures au laboratoire	55
II.3.2. Technique d'échantillonnage de la macrofaune benthique	55
II.3.2.1. Choix de l'approche et fréquence d'échantillonnage.....	55
II.3.2.2. Echantillonnage et conservation	57
II.3.2.3. Tri secondaire et identification des invertébrés aquatiques	57
II.3.3. Mesure des paramètres hydrologiques	58
II.3.4. Méthodes d'analyses des données	58
II.3.4.1. Approche taxonomique.....	58
II.3.4.2. Approche fonctionnelle.....	60
II.3.4.3. Calcul de l'Indice de Qualité de l'Habitat	60
II.3.4.4. Traitement statistiques des données.....	60

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	63
III.1. Résultats	64
III.1.1. Résultats de la première phase	64
III.1.1.1. Facteurs hydrologiques.....	64
III.1.1.1.1. Hauteur maximale de la lame d'eau.....	64
III.1.1.1.2. Vitesse d'écoulement.....	65
III.1.1.2. Facteurs physicochimiques.....	66
III.1.1.2.1. Température de l'eau	66
III.1.1.2.2. Conductivité électrique de l'eau	66
III.1.1.2.3. Nitrates	67
III.1.1.2.4. Ammonium	68
III.1.1.2.5. Orthophosphates	69
III.1.2. Résultats de la deuxième phase d'étude.....	70
III.1.2.1. Facteurs hydrologiques.....	70
III.1.2.1.1. Profondeur maximale de la lame d'eau (Heau) au moment de l'échantillonnage.....	70
III.1.2.1.2. Vitesse de l'eau	72
III.1.2.2 Variables physico-chimiques.....	72
III.1.2.2.1. Dans le Mayo Tsanaga.....	72
III.1.2.2.1.1. Température de l'eau.....	72
III.1.2.2.1.2. pH	72
III.1.2.2.1.3. Conductivité électrique	73
III.1.2.2.1.4. Nitrates	73
III.1.2.2.1.5. Ammonium.....	75
III.1.2.2.1.6. Orthophosphates.....	75
III.1.2.2.2. Dans le Mayo Kaliao	75
III.1.2.2.2.1. Température de l'eau.....	75
III.1.2.2.2.2. pH	76
III.1.2.2.2.3. Conductivité électrique de l'eau.....	76
III.1.2.2.2.4. Nitrates	76
III.1.2.2.2.5. Ammonium.....	76
III.1.2.2.2.6. Orthophosphates.....	78
III.1.2.3. Interrelation entre variables physicochimiques	78
III.1.2.3.1. Dans le Mayo Tsanaga.....	78

III.1.2.3.2. Dans le Mayo Kaliao	80
III.1.2.4. Indice de qualité de l'habitat	81
III.1.2.4.1. Du Mayo Tsanaga	81
III.1.2.4.2. Du Mayo Kaliao.....	82
III.1.2.5. Macroinvertébrés benthiques du Mayo Tsanaga et du Mayo Kaliao	82
III.1.2.5.1. Faune benthique globale des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao	82
III.1.2.5.2. Communautés de macroinvertébrés de chaque rivière étudiée.....	84
III.1.2.5.2.1. Macrofaune benthique globale du Mayo Tsanaga	84
III.1.2.5.2.2. Macrofaune benthique globale du Mayo Kaliao	85
III.1.2.5.3. Composition taxinomique globale par taxon	87
III.1.2.5.4. Dynamique spatio-temporelle de la richesse et de l'abondance taxonomiques des principaux groupes zoologiques obtenus	92
III.1.2.5.4.1. Dans le Mayo Tsanaga	92
III.1.2.5.4.1.1. Insectes	92
III.1.2.5.4.1.1.1. Ordre des Odonates.....	93
III.1.2.5.4.1.1.2. Ordre des Ephéméroptères	94
III.1.2.5.4.1.1.3. Ordre des Hétéroptères	95
III.1.2.5.4.1.1.4. Ordre des Diptères	96
III.1.2.5.4.1.1.5. Ordre des Coléoptères.....	97
III.1.2.5.4.1.2. Mollusques.....	98
III.1.2.5.4.1.3. Crustacés.....	99
III.1.2.5.4.1.4. Oligochètes	100
III.1.2.5.4.2. Dans le Mayo Kaliao.....	100
III.1.2.5.4.2.1 Insectes	100
III.1.2.5.4.2.1.1. Ordre des Odonates.....	101
III.1.2.5.4.2.1.2. Ordre des Ephéméroptères	102
III.1.2.5.4.2.1.3. Ordre des Hétéroptères	103
III.1.2.5.4.2.1.4. Ordre des Diptères	104
III.1.2.5.4.2.1.5.Ordre des Coléoptères.....	105
III.1.2.5.4.2.2. Mollusques.....	106
III.1.2.5.4.2.3. Crustacés.....	106
III.1.2.5.4.2.4. Oligochètes	107
III.1.2.5.5. Occurrence des taxons	108
III.1.2.5.5.1 Dans le Mayo Tsanaga	108

III.1.2.5.5.2 Dans le Mayo Kaliao.....	109
III.1.2.5.6.Variation annuelle de la richesse taxonomique et de l'abondance taxonomique dans le Mayo Tsanaga et le Mayo Kaliao.....	110
III.1.2.5.7. Mode d'alimentation des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau étudiés.....	113
III.1.2.5.8. Diversité et équitabilité.....	114
III.1.2.5.9. Indices EPT/Chironomidae.....	116
III.1.2.5.10. Indices biotiques de Hilsenhoff (HBI) et pourcentages des taxons tolérants et intolérants.....	117
III.1.2.5.11. Analyses en Composantes Principales des abondances de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau étudiés.....	120
III.2. Discussion.....	126
III.2.1. Qualité physicochimique des eaux des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao : fonctionnement des cours d'eau temporaires en zone soudano-sahélienne.....	126
III.2.2. Composition de la macrofaune.....	129
III.2.3. Dynamique spatiale de la macrofaune benthique des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao.....	134
III.2.4. Dynamique temporelle de la communauté de macroinvertébrés des Mayo Tsanaga et Mayo Kaliao.....	135
III.2.5. Structure du peuplement et indices majeurs caractérisant les cours d'eau étudiés.....	136
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	138
TABLE DES MATIERES.....	165
ANNEXES.....	171

ANNEXES

Annexe 1: Valeur de tolérance des différentes familles de macroinvertébrés benthiques vis-à-vis de la pollution organique (Hilsenhoff, 1988 ; Parkins *et al.*, 1989 ; Mandaville, 2002 ; CVRB, 2006)

Hilsenhoff (1988) et Plafkin *et al.* (1989) ont tenté de définir la valeur de tolérance des familles (Family Tolerance Value – FTV – en anglais) des Arthropodes benthiques sur une échelle allant de 0 à 10. La valeur 0 signifie que les individus de la famille supportent peu ou pas la pollution organique et sont dits polluo-sensibles, pendant que la valeur 10 indique des individus supportant de forte charge en matière organique dans l'eau et sont dits polluo-résistants (Mandaville, 2002). Ainsi, une eau de bonne qualité sera plus riche en organismes polluo-sensibles qu'une eau de mauvaise qualité, plus riche en organismes polluo-résistants.

FAMILLES	FTV	FAMILLES	FTV	FAMILLES	FTV
Acariformes	4	Helicopsychidae	3	Potamanthidae	4
Aeolosomatidae	8	Helodidae	5	Psephenidae	4
Aeshnidae	3	Hemiptera	8	Psychodidae	10
Ameletidae	0	Heptageniidae	4	Psychomyiidae	2
Anthomyiidae	6	Hirudinea	10	Pteronarcyidae	0
Asellidae	8	Hydrobiidae	6	Ptilodactylidae	1
Athericidae	2	Hydrophilidae	5	Pyralidae	5
Baetidae	4	Hydropsychidae	4	Rhyacophilidae	0
Blephariceridae	0	Hydroptilidae	4	Sericostomatidae	3
Brachycentridae	1	Hydrozoa	7	Sialidae	4
Bryozoa	7	Isotomidae	10	Simuliidae	6
Caenidae	7	Lampyridae	6	Siphonuridae	7
Calamoceratidae	0	Lepidostomatidae	1	Sisyridae	3
Calopterygidae	5	Leptoceridae	4	Sminthuridae	10
Cambaridae	6	Leptophlebiidae	2	Sphaeriidae	8
Capniidae	1	Lestidae	9	Staphylinidae	4
Ceratopogonidae	6	Leuctridae	0	Syrphidae	10
Chironomidae - Rouge	8	Libellulidae	9	Tabanidae	6
Chironomidae - Blanc	6	Limnephidae	4	Taeniopterygidae	2
Chloroperlidae	1	Lumbricidae	10	Talitridae	8
Chrysomelidae	5	Lumbriculidae	8	Tipulidae	3
Coenagrionidae	9	Macromiidae	3	Tricorythidae	4
Corbiculiidae	8	Metretopodidae	2	Tubificidae	10
Corduliidae	5	Molannidae	6	Turbellaria	4
Cordulegastridae	3	Muscidae	6	Unionidae	8
Corixidae	9	Naididae	7	Veliidae	9
Corydalidae	0	Neanurinae	10		

Culicidae	8	Nematoda	6
Dixidae	3	Nemertea	5
Dolichopodidae	4	Nemouridae	2
Dryopidae	5	Noteridae	4
Dytiscidae	4	Odontoceridae	0
Elmidae	4	Oligoneuriidae	2
Empididae	6	Onychiuridae	10
Ephemerellidae	1	Peltoperlidae	1
Ephemeridae	4	Perlidae	1
Ephydriidae	6	Perlodidae	2
Erpodellidae	1	Philopotamidae	3
Eurystethidae	1	Phoridae	7
Gammaridae	4	Phryganeidae	4
Gastropoda	7	Physidae	7
Gerridae	8	Planariidae	4
Glossosomatidae	0	Planorbidae	6
Goeridae	0	Pleuroceridae	6
Gomphidae	1	Polycentropodidae	6
Gyrinidae	3	Polychaeta	5
Haliplidae	5	Polymitarcidae	2
Haplotaxidae	8	Porifera	7

FTV = Family Tolerance Value
0 = tolère peu ou pas de pollution
10 = tolère une forte pollution

Annexe 2 : Description des paramètres utilisés pour le calcul de l'IQH

a) Habitats aquatiques

Ce paramètre permet d'évaluer la diversité et l'abondance d'habitats stables disponibles pour la communauté benthique. Pour la diversité des habitats, à la station d'étude, on a recherché les habitats stables qui peuvent être les débris ligneux, les berges végétalisées ou encastrées, les macrophytes et les sections à courant rapide. Ces dernières peuvent être des seuils ou des embâcles partiels créés par des débris végétaux. L'abondance des habitats quant à elle a été estimée par énumération des divers habitats présents dans les berges et dans le centre du cours d'eau.

b) Présence de fosses et substrat de fosses

Ce paramètre évalue le type de substrat retrouvé dans les fosses, une fosse étant la zone de la rivière où le courant est faible et où la profondeur est supérieure aux zones environnantes. Une fosse dont les sédiments sont constitués d'argile et de sable fermes et où croissent des plantes aquatiques enracinées supporte une grande variété d'organismes. *A contrario*, une fosse dont le substrat dominant est le limon ou le sable et qui n'a pas de racines ni de plantes aquatiques est moins attrayante pour ceux-ci. Les racines de végétaux terrestres qui émergent des berges sont un habitat biogène. De plus, un cours d'eau qui possède un substrat uniforme dans ses fosses supportera une moins grande diversité d'organismes qu'un cours d'eau dont les fosses ont un substrat varié.

c) Sédimentation

La sédimentation renvoie à la quantité de sédiments s'étant accumulés dans les fosses et aux changements de topographie du fond à la suite de leur dépôt. Les sédiments transportés peuvent se concentrer dans certaines zones et entraîner la formation d'îlots ou de bancs. Ils peuvent également s'accumuler dans les fosses ou dans les sections moins rapides. Habituellement, la sédimentation est évidente dans les secteurs où l'écoulement est obstrué par des débris (naturels ou non) ou dans des zones de faible courant, telles les berges. Une grande accumulation de sédiments est un symptôme d'un environnement instable en changement perpétuel. Un tel environnement ne convient pas à de nombreux organismes.

d) Degré de marnage et hauteur moyenne de la lame d'eau (Heau)

Ces métriques renvoient à la quantité d'eau dans le lit du cours d'eau et à sa hauteur au moment de l'échantillonnage. Lorsque l'eau ne couvre pas le lit de la rivière, la quantité d'habitats favorables pour les organismes aquatiques est limitée. La baisse du niveau d'eau

expose les substrats tels que les débris ligneux, les macrophytes, les racines des végétaux des berges. Le degré de marnage est particulièrement utile à l'interprétation des conditions biologiques lorsque les conditions d'écoulement sont anormales ou en période de fort étiage. Ce paramètre prend toute son importance pour les comparaisons d'une période à l'autre pour une même station ou pour une comparaison d'une station à l'autre à différentes périodes d'échantillonnage.

e) Stabilité des berges

Ce paramètre vise à mesurer le taux d'érosion des berges ou leur potentiel d'érosion. L'effondrement de la berge, l'absence de végétation, les racines d'arbres exposées et le sol nu sont des signes d'érosion. En milieu agricole où la végétation naturelle est remplacée par une forte proportion de plantes herbacées, l'érosion se traduit souvent par des mottes d'herbes qui se retrouvent dans le lit du cours d'eau. Des berges érodées indiquent un problème dans le mouvement et le dépôt des sédiments. Cela suggère une baisse du couvert végétal et un apport de matière organique au cours d'eau. Chacune des berges étant évaluée séparément, le résultat final correspond à la somme du pointage donné à chacune des berges.

f) Protection végétale des berges

Ce paramètre vise à mesurer la protection végétale fournie par la végétation en bordure du cours d'eau. En effet, le système racinaire des plantes croissant sur la berge aide au maintien du sol et par ricochet réduit l'érosion. Selon la hauteur de la berge, la stabilisation offerte est variable : la végétation herbacée ne peut stabiliser une berge de plus de 0,5 m de hauteur et les arbres et les arbustes ne peuvent stabiliser une berge de plus de 1,5 m de hauteur ; donc, au-delà de 1,5 m de hauteur de berge, les racines sont incapables de maintenir le sol en place. La protection végétale fournit une information sur le potentiel de la berge à résister à l'érosion, sur l'absorption des nutriments par les plantes, sur la résistance de la berge au décapage et sur l'ombrage sur le cours d'eau. Les cours d'eau dont les berges ont une végétation naturelle qui pousse sans contrainte sont plus favorables aux poissons et aux macroinvertébrés que ceux dont les berges sont sans protection végétale, bétonnées ou enrochées. Dans les secteurs où le bétail exerce une forte pression de broutage ou de piétinement ainsi que dans les secteurs où le développement urbain et résidentiel détruit la bande riveraine, la croissance de la végétation naturelle est entravée et ce phénomène peut s'étendre à la protection végétale des berges. La limite inférieure de la zone caractérisée se situe à la première encoche d'érosion ou à la première

trace laissée par le passage de l'eau. Dans plusieurs cas, il s'agit de la limite d'implantation de la végétation permanente, c'est-à-dire la limite des arbres et des arbustes.

g) Largeur de la bande végétale

Ce paramètre vise à évaluer la largeur de la végétation naturelle bordant le cours d'eau, c'est-à-dire la végétation qui serait en place sans défrichage ni coupe. Il peut également s'agir d'une bande renaturalisée. On en évalue la largeur à partir de la première encoche d'érosion ou de la première trace laissée par le passage de l'eau. Cette bande végétale exerce un pouvoir tampon sur les polluants provenant du ruissellement. Elle contrôle l'érosion et fournit des habitats et un apport nutritif lié à la chute des feuilles. La dégradation de cette bande est souvent causée par le développement urbain et ses infrastructures (routes, bâtiments...). Elle peut aussi être causée par la présence de cultures, de pâturages, de roches ou de sol nu. Toutefois, la présence de champs en friche, de sentiers ou de pistes cyclables dans la bande végétale pourrait être jugée comme ayant un effet négligeable.

Annexe 3 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés le long du Mayo Tsanaga au cours de l'étude

	Mayo Tsanaga						
		MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6
T(°C)	2013	28,99	30,59	31,22	32,45	32,17	33,78
	2014	28,93	29,97	31,70	33,47	32,50	35,40
pH(UC)	2013	7,5	7,57	7,57	8,11	7,6	7,7
	2014	7,49	7,63	7,55	8,12	7,54	7,65
EC (µS/cm)	2013	202,89	147,82	104,52	81,72	65,64	132,54
	2014	155,02	111,05	82,52	486,25	94,05	131,38
Nitrates (mg/L de NO₃⁻)	2013	0,339	0,052	0,019	0,549	0,010	0,149
	2014	0,336	0,052	0,019	0,550	0,050	0,826
Ammonium (mg/L de NH₄⁺)	2013	0,597	0,144	0,147	0,368	0,289	0,711
	2014	0,533	0,160	0,157	0,403	0,300	0,850
Orthophosphates (mg/L de PO₄³⁻)	2013	0,226	0,638	0,396	1,113	0,653	0,748
	2014	0,306	0,681	0,408	1,436	0,653	0,774

Annexe 4 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés du début à la fin de permanence de l'eau dans le Mayo Tsanaga au cours de l'étude

Mayo Tsanaga						
	A1	B1	C1	A2	B2	C2
T (°C)	28,63	32,98	33,00	30,77	30,17	35,05
pH (UC)	7,15	7,95	7,93	7,68	7,91	7,67
EC (µS/cm)	131,10	146,38	90,09	126,85	507,43	112,63
Nitrates (mg/L de NO ₃ ⁻)	0,074	0,397	0,088	0,102	0,727	0,087
Ammonium (mg/L de NH ₄ ⁺)	0,501	0,438	0,189	0,582	0,480	0,140
Orthophosphates (mg/L de PO ₄ ³⁻)	0,501	0,438	0,189	0,582	0,480	0,140

Annexe 5 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés le long du Mayo Kaliao au cours de l'étude

Mayo Kaliao						
	A1	B1	C1	A2	B2	C2
T (°C)	25,0	29,3	30,7	28,7	28,8	32,6
pH (UC)	7,16	7,99	7,99	7,16	8,04	8,00
EC (µS/cm)	137,1	296,9	393,6	78,2	86,8	87,7
Nitrates (mg/L de NO ₃ ⁻)	0,579	0,540	0,543	0,631	0,543	0,006
Ammonium (mg/L de NH ₄ ⁺)	0,736	0,325	0,233	0,962	0,263	0,042
Orthophosphates (mg/L de PO ₄ ³⁻)	0,093	0,120	0,307	0,244	0,307	0,515

Annexe 6 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques mesurés du début à la fin de permanence de l'eau dans le Mayo Kaliao au cours de l'étude

Mayo Kaliao				
		MK1	MK2	MK3
T(°C)	2013	27,1	27,2	30,6
	2014	27,5	27,8	34,7
pH(UC)	2013	7,7	7,7	7,8
	2014	7,7	7,7	7,8
EC (µS/cm)	2013	448,7	208,1	170,8
	2014	38,8	42,8	171,0
Nitrates (mg/L de NO ₃ ⁻)	2013	1,306	0,091	0,264
Ammonium (mg/L de NH ₄ ⁺)	2014	0,959	0,073	0,147
Orthophosphates (mg/L de PO ₄ ³⁻)	2013	0,086	0,470	0,738
Nitrates (mg/L de NO ₃ ⁻)	2014	0,148	0,372	0,747
Ammonium (mg/L de NH ₄ ⁺)	2013	0,07	0,37	0,08
	2014	0,192	0,546	0,32766667

Annexe 7 : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Tsanaga

	Mayo Tsanaga					
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6
Habitats aquatiques	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale
Fosse et substrat de fosse	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale
Sédimentation	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale
Stabilité des berges	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Sous-optimale	Optimale
Protection végétale des berges	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale	Marginale
Types de végétation	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre
Pointage final	10	10	10	10	10	11
IQH	Marginal	Marginal	Marginal	Marginal	Marginal	Sous-optimal

Annexe 8 : Caractéristiques de l'habitat et indice de qualité de l'habitat du Mayo Kaliao

	Mayo Kaliao		
	MK1	MK2	MK3
Habitats aquatiques	Sous-optimale	Optimale	Marginale
Fosse et substrat de fosse	Optimale	Optimale	Optimale
Sédimentation	Marginale	Marginale	Marginale
Stabilité des berges	Sous-optimale	Optimale	Optimale
Protection végétale des berges	Sous-optimale	Pauvre	Optimale
Types de végétation	Pauvre	Pauvre	Pauvre
Pointage final	11	12	12
IQH	Sous-optimal	Sous-optimal	Sous-optimal