

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES  
FACULTY OF SCIENCE

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES  
DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT  
LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT

**Biodiversité zooplanctonique et viabilité d'une  
pisciculture à faible niveau d'intrants dans le  
Département du Mfoundi (Région du Centre,  
Cameroun)**

**THÈSE**

Présentée Soutenue en vue de l'obtention du Doctorat/Ph.D  
en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

**DAKWEN Jeannette Prudence**

*DEA en Hydrobiologie et Environnement*

**Matricule : 90W032**

Devant un jury composé de

Président :	FOMENA Abraham , <i>Professeur</i>	<i>Université de Yaoundé I</i>
Rapporteurs :	NJINE Thomas, <i>Professeur</i>	<i>Université de Yaoundé I</i>
	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, <i>Professeur</i>	<i>Université de Yaoundé I</i>
Membres	TOMEDI EYANGO Minette Epse TABI ABODO, <i>Professeur</i>	<i>Université de Douala</i>
	NOLA Moïse, <i>Professeur</i>	<i>Université de Yaoundé I</i>
	FOTO MENBOHAN Samuel, <i>Maître de Conférences</i>	<i>Université de Yaoundé I</i>

*Année 2020*





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

ATTESTATION DE CORRECTION

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la **Thèse de Doctorat/Ph.D** en Biologie des Organismes Animaux option Hydrobiologie et Environnement, de madame **DAKWEN Jeannette Prudence**, matricule **90W032**, soutenance autorisée par la correspondance N° **201095/UY1/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SPD/CB-AP** du Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du **24 juin 2020**, attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation faite le **13 juillet 2020**, ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

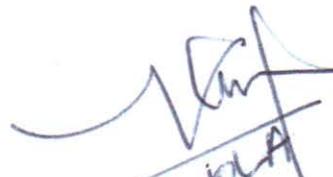
En foi de quoi cette attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Yaoundé, le **13 AUG 2020**

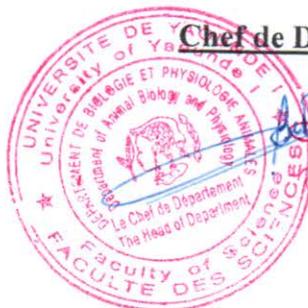
Président du Jury

  
A. FOHÉNA

Examineur

  
M. NOLA

  
S. Feto Menbohou



Chef de Département

  
Charles Félicia  
Bilong Bilong  
Professeur

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

**ANNÉE ACADEMIQUE 2019/2020**  
 (Par Département et par Grade)  
**DATE D'ACTUALISATION 03 Mars 2020**

### **ADMINISTRATION**

**DOYEN** : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maitre de Conférences*  
**VICE-DOYEN / DPSAA** : DONGO Etienne, *Professeur*  
**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)**

<b>N°</b>	<b>NOMS ET PRÉNOMS</b>	<b>GRADE</b>	<b>OBSERVATIONS</b>
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	ATOUGHO 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 NGOUNOUE 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	Chargée de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	BEBEE Fadimatou	Chargée 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 NSANGO 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) (48)

1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
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	<i>Vice Doyen/FMSB/UYI</i>
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	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
13	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	<i>En poste</i>

14	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA BOUKENG Hermine épse 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 épse 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
26	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
27	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
28	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
29	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
30	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
31	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
32	LEKEUFACK FOLEFACK Guv B.	Chargé de Cours	En poste
33	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
34	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
35	MOUNGANG LucianeMarlyse	Chargée de Cours	En poste
36	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
37	NGOULATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
38	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
39	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
40	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
41	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
42	TAMSA AREAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
43	YEDE	Chargé de Cours	En poste

44	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
45	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
46	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
47	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
48	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	<i>CE / MINRESI</i>
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	Chargé de Cours	En poste
19	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
20	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé 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	Chargé de Cours	En poste
25	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé 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	Assistant	En poste

#### **4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (35)**

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Vice Recteur Univ Bamenda</i>
2	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>Recteur Univ.Ngaoundere</i>
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Miss.PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI/Chef de Departement</i>
7	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UD</i> s

10	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
----	------------------------	-----------------------	-----------------------------

11	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
23	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
12	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
13	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
14	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
15	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJOMOU 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
24	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
25	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
26	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
27	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
28	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
29	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
30	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
31	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
32	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
33	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
34	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
35	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

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

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen / PSAA
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	<i>Directeur/ MINESUP</i>
7	WANDJI Jean	Professeur	En poste

8	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	<i>DEPE/ Rectorat/UYY</i>
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	<i>Chef Service Programme &amp; Diplomes</i>
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
	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	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	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasia	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	Chargé de Cours	En poste
28	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
29	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
30	OUAHOUE 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	ZONDENDEGOUNBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
34	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste

#### 6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (27)

1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div. MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Chef Dpt ENS/Chef IGA. MINESUP</i>

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

4	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	En poste
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	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
13	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	C/D Enset. Ebolowa
14	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
15	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
16	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste

17	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
18	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
19	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
20	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
21	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
22	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	En poste
23	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
24	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

### 7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (31)

1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>CD Info/ Inspecteur MINESUP</i>
---	---------------------	------------	----------------------------------------

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	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
7	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste

8	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
9	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
10	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
11	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
12	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
13	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
14	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
15	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste

16	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
17	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Chargé de Cours	En poste
18	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
19	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
20	NIMPA PEFOUNKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
21	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
22	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
23	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
24	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
25	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargée de Cours	En poste
26	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
29	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
30	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
31	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
32	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste

#### **8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)**

1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	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	Assistant	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 PYSIQUE(PHY) (40)**

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Chef Division. UN</i>
3	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
4	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
5	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
6	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
7	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
8	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	<i>Sous Directeur/ MINRESI</i>
9	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
10	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen Univ/Bda
11	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
12	WOAFO Paul	Professeur	En poste

13	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
14	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
15	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Maître de Conférences	En poste
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	<i>Sous Directeur/ MINESUP</i>
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'I 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	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse 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	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
10	GHOLOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
11	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
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	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
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	<i>Chef Div. /MINTP</i>
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
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	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>

29	LAMILÉN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MBESSE CECILE 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	<i>CD/Uma</i>
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	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM	Chargée de Cours	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
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	9 (1)	13 (09)	14 (06)	3 (2)	<b>39 (18)</b>
BPA	13 (1)	09 (06)	19 (05)	05 (2)	<b>46 (14)</b>
BPV	06 (0)	11 (02)	9 (06)	07 (01)	<b>33 (9)</b>
CI	10 (1)	10 (02)	12 (02)	03 (0)	<b>35 (5)</b>
CO	7 (0)	17 (04)	09 (03)	02 (0)	<b>35(7)</b>
IN	2 (0)	1 (0)	13 (01)	09 (01)	<b>25 (2)</b>
MAT	1 (0)	5 (0)	19 (01)	06 (02)	<b>31 (3)</b>
MIB	1 (0)	5 (02)	06 (01)	06 (02)	<b>18 (5)</b>
PHY	12 (0)	15 (02)	10 (03)	03 (0)	<b>40 (5)</b>
ST	8 (1)	14 (01)	19 (05)	02 (0)	<b>43(7)</b>
<b>Total</b>	<b>69 (4)</b>	<b>100 (28)</b>	<b>130 (33)</b>	<b>46 (10)</b>	<b>345 (75)</b>

Soit un total de **345 (75)** dont :

- Professeurs **68 (4)**
- Maîtres de Conférences **101 (28)**
- Chargés de Cours **130 (33)**
- Assistants **46 (10)**

( ) = Nombre de Femmes **75**

# SOMMAIRE

LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS .....	i
SOMMAIRE .....	xii
DÉDICACE.....	xiv
REMERCIEMENTS .....	xv
LISTE DES FIGURES .....	xvii
LISTE DES TABLEAUX .....	xx
LISTE DES ABREVIATIONS .....	xxii
RESUME.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE .....	5
I.1. Historique sur la pisciculture .....	6
I.1.1. Définition et formes de pisciculture.....	6
I.1.2. Historique sur la pisciculture en Afrique .....	7
I.1.3. Historique sur la pisciculture au Cameroun .....	8
I.1.4. Production agro-piscicole dans la région du Centre-Cameroun.....	12
I.2. Fonctionnement d'un étang piscicole.....	13
I.2.1 Zonation d'un étang de pisciculture .....	14
I.2.2. Dynamique du peuplement dans un étang piscicole .....	16
I.2.3. Stratégies alimentaires des poissons en étang .....	18
I.2.4. Impact du poisson sur l'étang piscicole .....	18
I.3. Mode d'élevage et d'alimentation de poisson en étang .....	19
I.3.1. Mode d'élevage de poisson en étang .....	19
I.3.2. Empoisonnement de l'étang .....	21
I.3.3. Alimentation des poissons en étang .....	22
I.4. Itinéraire technique pour la conduite d'un étang piscicole .....	28
I.4.1-Critères de mise en place d'un étang piscicole .....	29
I.4.2. Activités déterminantes de la phase de remplissage .....	31
I.4.3. Activités déterminantes de la phase de production .....	32
I.4.4. Phase de vidange : Récolte.....	37
I.4.5. Phase de l'assec.....	38
I.5. Caractérisation des étangs de pisciculture.....	39

I.5.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau .....	39
I.5.2. Caractéristiques biologiques des étangs piscicoles .....	45
CHAPITRE II : CADRE GEOGRAPHIQUE, MATERIEL ET METHODES .....	64
II.1. Cadre géographique .....	65
II.1.1. Position géographique .....	65
II.1.2. Climat, sol et hydrographie.....	66
II.1.3. Présentation du site d'étude .....	67
II.1.4. Description des plans d'eau .....	68
II.1.5. Gestion des plans d'eau au cours du cycle d'élevage .....	69
II.2. Matériel.....	71
II.3. Méthodes .....	71
II.3.1. Stations et période d'échantillonnage .....	71
II.3.2. Evaluation de la physico-chimie et de la teneur en chlorophylle <i>a</i> de l'eau de l'étang .....	72
II.3.3. Etude du zooplancton .....	76
II.3.3.1. Echantillonnage du zooplancton.....	76
II.3.4. Etude de l'ichtyofaune .....	79
II.3.5. Influence de la physicochimie sur les autres variables .....	81
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....	82
III.1. RESULTATS .....	83
III.1.1. Dynamique physico-chimique et chlorophylle <i>a</i> des eaux des étangs étudiés .....	83
III.1.2. Zooplancton des étangs .....	103
III.1.3. Quelques données ichtyologiques .....	139
III.1.4. Gestion des étangs étudiés pendant la période d'élevage.....	142
III.2. DISCUSSION .....	146
III.2.1. Physico-chimie et chlorophylle <i>a</i> des eaux des étangs.....	146
III.2.2. Peuplement zooplanctonique.....	151
III.2.3. Icthyofaune.....	154
III.2.4. Stratégie de gestion d'un étang piscicole .....	158
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	160
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	164
ANNEXES .....	185



**DÉDICACE**

*A la dynastie*

**MBEU'DEU PAULINA DJEUKEU**

## REMERCIEMENTS

Cette thèse n'aurait pas été réalisée sans l'appui de certaines personnes, qui malgré leurs multiples occupations, ont participé à sa réalisation.

Je remercie le Professeur **Thomas NJINE** qui a accepté de m'accueillir dans son laboratoire de recherche, m'offrant ainsi l'opportunité de réaliser mes premiers pas dans la recherche à travers mon mémoire de DEA qu'il a supervisé et cette thèse qu'il a codirigée. Je lui adresse ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont à l'endroit de mon codirecteur de thèse, le Professeur **Serge Hubert ZEBAZE TOGOUET**, dont la rigueur dans le travail m'a souvent amené à me surpasser. Il m'a initiée dans le monde de la recherche et m'a toujours suivie au cours de mes travaux.

Je signifie ma reconnaissance à l'endroit du Professeur **Charles Félix BILONG BILONG**, Chef de Département de Biologie et Physiologie Animales pour les enseignements que j'ai reçus de lui en écologie et en biostatistique, et pour les conseils qu'il m'a prodigués pendant ce travail.

Je remercie très chaleureusement les professeurs **Abraham FOMENA**, **Gidéon AJEAGAH AGHAINDUM**, **Ives Magloire KENGNE**, les Docteurs **Norbert KEMKA**, **Joseph PIEBOJI GANGOUE**, **Barthélémy NGAMENI**, **Charles SOFFEU** pour la précieuse orientation qu'ils m'ont donnée au début de ce travail.

Je voudrais trouver ici des mots justes pour signifier ma sincère gratitude à l'endroit de mes fils bien aimés, **Mandela Chamberlain NDJOMENG NGUENANG** et **Charles Ledoux NDJOMENG YAMTCHEU** pour le soutien multiforme qu'ils m'ont apporté durant toutes ces années de recherche. Que ce travail en retour leur serve d'exemple à suivre.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous les enseignants du Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement dont la rigueur scientifique m'a guidée dans le présent travail. Cette gratitude va à l'endroit des Professeurs **Moïse NOLA**, **Samuel FOTO MENBOHAN**, et des Docteurs **Olive Vivien NOAH EWOTI** et **Marlyse Luciane MOUGANG** épouse **NGAMENI**.

Je tiens particulièrement à exprimer ma profonde gratitude aux **Drs Raoul Polycarpe TUEKAM KAYO** et **Mireille TCHOUANKEP KAPSO** pour leur dynamisme et leur disponibilité dans la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent en ces mots mes sincères remerciements.

Je remercie également mes enfants adoptifs **Alain TIETCHEU**, **Diverno TADAH**, **Gilbert TANKEU**, **Arnaud ETAME**, **Sidonie NGO SEI** et **Isabel KALIEU** pour l'assistance lors des descentes sur le terrain.

Je voudrais aussi adresser mes remerciements à mes camarades de promotion de Licence, le Professeur **Gisèle FOKO**, les Drs **Denise DJOGUEU épouse SOFFEU**, **Désirée Chantal ALENE** et **Joséphine Thérèse MAKUETI** qui n'ont ménagé aucun effort pour me convaincre quant à mon retour à l'Université.

Je tiens à dire un « merci » spécial à **Sa Majesté Théodore FANSI TCHUALIEU II**, chef Supérieur du village Baboné, mes oncles **John SHONGA WELASHEY**, **Jean Pierre TCHAKO**, **Robert TOKO**, **Jean Marie TCHEUMALEU** et mes mamans **Elise DJUEDJI**, **Marie Angèle KAMENI** et **Gisèle WANSI** pour les encouragements et les viatiques qu'ils n'ont cessé de me donner.

Je remercie ensuite mes frères **Albert Ledoux YONDJEU**, **Alexis TCHAKO**, **Sylvestre TOWE**, **Joseph GANDJUI**, **Eric POUDJEU NANA**, et ma tendre sœur **Bernadette Aimée EMAHA épouse NOUCK**, pour leur soutien permanent, sans oublier mes neveux et nièces **Junior NOUCK KONDOCK**, **Henri Frank TCHAKO TCHUANGOU**, **Charly WELASHEY**, **Henri NOUCK TCHUANGOU**, **Idriss BIELEU TCHAKO**, **Paul Clément NOUCK HOPMAN**, **Gaëlle FANSI**, **Anne Léocadie GUEUSSON**, **Rachel Laure NGALEU**, **Joyce NNANE**, **Murielle TCHOKONTE TEMA** et **Patricia YOUDJEU TEMA** pour la détente qu'ils m'offraient généralement les dimanches et pendant les vacances.

J'adresse un chaleureux remerciement aux associations **CHARITE**, **APENIBAYA** et aux établissements « **TOTO SHOPPING** » et « **SOFFEU SHOPPING** » pour les ressources financières mises à ma disposition sans oublier le responsable du **GIC AGROELEVEUR**, **Albert NGENDEU** pour le foncier et les informations qu'il m'a donnés pour la réalisation de ce travail.

Je suis aussi reconnaissante à toute l'équipe du Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, particulièrement à tous mes aînés de laboratoire, les Drs **Daniel EBANG**, **Chrétien LONTSI**, **Siméon TCHAKOUNTE**, **Guy NZIELEU**, **Diane MADOMGUIA**, et mes cadets de laboratoire **Narcisse MVONDO**, **Marie Laure BANGA MEDJO**, **Jean DZAVI** ; mes interrogations multiples et variées ont toujours trouvé auprès d'eux des réponses favorables.

Je ne saurais terminer sans dire merci à mes amis **Christine NGANZEU épouse KAMGA**, **Marie Pascale KAMENI épouse HAMAN**, **Béatrice NANMETIO épouse KOWO**, **Sosthène NDOB** pour leur soutien multiforme et incommensurable.

J'exprime ici ma gratitude à toutes les autres personnes qui de près ou de loin m'ont soutenue lors de la réalisation de cette étude.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Estimation de la production piscicole au Cameroun de 1977 à 2018.....	11
<b>Figure 2</b> : Illustration d'un réseau trophique en étang piscicole .....	14
<b>Figure 3</b> : Illustration des différents compartiments d'un étang piscicole .....	15
<b>Figure 4</b> : Illustration du cycle de vie de l'étang.....	29
<b>Figure 5</b> : Illustration des différents types d'étangs .....	30
<b>Figure 6</b> : Illustration de la technique d'empoissonnement .....	33
<b>Figure 7</b> : Illustration de quelques techniques de fertilisation continue exploitées en élevage semi-intensif.....	33
<b>Figure 8</b> : Schéma illustrant la récolte des poissons .....	38
<b>Figure 9</b> : Quelques spécimens de zooplancton fréquemment rencontrés dans les étangs piscicoles .....	46
<b>Figure 10</b> : Résumé de l'ensemble des niches écologiques occupées par le zooplancton et des différentes inter-actions entre les organismes zooplanctoniques et les variables physico-chimiques du milieu.....	51
<b>Figure 11</b> : Répartition de l'énergie aux différents niveaux trophiques d'un écosystème lacustre .....	53
<b>Figure 12</b> : Principales espèces de poissons utilisées en pisciculture au Cameroun.....	57
<b>Figure 13</b> : Localisation de la zone et du site d'étude .....	65
<b>Figure 14</b> : Variations mensuelles de la température et de la pluviométrie pendant la période d'étude.....	67
<b>Figure 15</b> : Vues partielles des étangs étudiés.....	69
<b>Figure 16</b> : Echantillonnage des poissons .....	80
<b>Figure 17</b> : Variation spatio-temporelle des variables physiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage de la température et de la profondeur de disparition du disque de Secchi.....	84
<b>Figure 18</b> : Variation spatio-temporelle des variables physiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage des M.E.S., de la couleur et de la turbidité.....	86
<b>Figure 19</b> : Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage de l'oxydabilité, de la conductivité électrique et de l'oxygène.....	88
<b>Figure 20</b> : Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage, de l'alcalinité totale et de la dureté calcique.....	90

<b>Figure 21 :</b> Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage de l'azote ammoniacal, du nitrite et du nitrate.....	92
<b>Figure 22 :</b> Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage de l'orthophosphate.....	93
<b>Figure 23 :</b> Données moyennes des variables physico-chimiques enregistrées dans les plans d'eau au terme du cycle complet de l'élevage et détail de la phase de démarrage .....	99
<b>Figure 24 :</b> ACP des variables physico-chimiques enregistrées dans les plans d'eau au terme du cycle complet de l'élevage et de la phase de démarrage.....	101
<b>Figure 25 :</b> Variation spatio-temporelle de la chlorophylle <i>a</i> pendant le cycle complet d'élevage et détail de la phase de démarrage.....	102
<b>Figure 26:</b> Richesse spécifique des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage.....	106
<b>Figure 27 :</b> Variation spatio-temporelle de la richesse spécifique du zooplancton au cours du cycle complet d'élevage et détail à la phase de démarrage.....	106
<b>Figure 28:</b> Variation spatio-temporelle de la richesse spécifique des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet et détail à la phase de démarrage pour les étangs E1, E2, E3 et ET.....	107
<b>Figure 29 :</b> Répartition spatiale de l'abondance zooplanctonique totale au terme du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage .....	108
<b>Figure 30 :</b> Abondance totale des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage .....	109
<b>Figure 31 :</b> Variation spatio-temporelle de l'abondance zooplanctonique totale au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage.....	110
<b>Figure 32 :</b> Variation spatio-temporelle de l'abondance des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage pour les étangs E1, E2, E3 et ET .....	112
<b>Figure 33 :</b> Variation spatio-temporelle de l'indice de diversité de Shannon et de Weaver au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage....	114
<b>Figure 34 :</b> Variation spatio-temporelle de l'indice d'équitabilité de Piélou au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage.....	115
<b>Figure 35 :</b> Répartition spatiale de la biomasse totale de la communauté zooplanctonique au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage. ....	118
<b>Figure 36 :</b> Variation spatiale de la biomasse des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage. ....	118
<b>Figure 37 :</b> Variation spatio-temporelle de la biomasse zooplanctonique totale pendant le cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage.....	119

<b>Figure 38 :</b> Variation spatio-temporelle de la biomasse des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage pour les étangs E1, E2, E3 et ET. ....	121
<b>Figure 39 :</b> Abondance et biomasse relatives des Rotifères récoltés dans E1 au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage. ....	123
<b>Figure 40 :</b> Abondance et biomasse relatives des Rotifères récoltés dans E2 au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	124
<b>Figure 41 :</b> Abondance et biomasse relatives des Rotifères récoltés dans E3 au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	125
<b>Figure 42 :</b> Abondance et biomasse relatives des Rotifères récoltés dans ET au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	126
<b>Figure 43 :</b> Abondance et biomasse relatives des Cladocères récoltés dans E1 au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	127
<b>Figure 44 :</b> Abondance et biomasse relatives des Cladocères récoltés dans E2 au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	127
<b>Figure 45 :</b> Abondance et biomasse relatives des Cladocères récoltés dans E3 au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	128
<b>Figure 46 :</b> Abondance et biomasse relatives des Cladocères récoltés dans ET au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	129
<b>Figure 47:</b> Variation spatio-temporelle de la biomasse des rotifères <i>Asplanchna brightwelli</i> , <i>Anureopsis fissa</i> et <i>Brachionus angularis</i> au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	132
<b>Figure 48:</b> Variation spatio-temporelle de la biomasse des rotifères <i>Brachionus calyciflorus</i> , <i>Polyarthra vulgaris</i> et <i>Rotaria rotaria</i> au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	134
<b>Figure 49:</b> Variation spatio-temporelle de la biomasse des microcrustacées <i>Moina micrura</i> et <i>Mesocyclops salinus</i> au cours du cycle complet de l'élevage et détails de la phase de démarrage. ....	136
<b>Figure 50 :</b> Analyse en Composantes Principales de l'abondance des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés enregistrée au cours du cycle complet et détail de la phase de démarrage. ....	137
<b>Figure 51 :</b> Analyse en Composantes Principales de la biomasse des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés enregistrée au cours du cycle complet et détail à la phase de démarrage. ....	138

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I :</b> Rendement et poids moyen final de tilapia monosexé ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) élevé en étang en Afrique sub-saharienne en fonction de la densité d'élevage et un même niveau d'intrants.....	22
<b>Tableau II :</b> Composition (en % de Matières Sèches) des déjections de quelques animaux domestiques.....	25
<b>Tableau III :</b> Synthèse des normes de qualité des eaux piscicoles .....	45
<b>Tableau IV :</b> Devenir des matières ingérées par les divers groupes zooplanctoniques .....	53
<b>Tableau V :</b> Programme prévisionnel de Gestion des étangs.....	70
<b>Tableau VI :</b> Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E1 pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage.....	94
<b>Tableau VII :</b> Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E2 pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage .....	95
<b>Tableau VIII :</b> Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E3 pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage .....	96
<b>Tableau IX :</b> Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang ET pendant le cycle complet et détail de la phase de démarrage.....	97
<b>Tableau X :</b> Comparaison des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques entre les étangs à l'aide du test U de Mann-Whitney pendant la phase de démarrage et le cycle complet d'élevage.....	100
<b>Tableau XI :</b> Evaluation de la corrélation entre la chlorophylle <i>a</i> et les variables physicochimiques de l'eau des étangs étudiés.....	102
<b>Tableau XII :</b> Liste des espèces récoltées dans les plans d'eau et leur fréquence d'occurrence.....	103
<b>Tableau XIII :</b> Variation temporelle de l'indice de Sørensen au cours du cycle complet de l'élevage et détail à la phase de démarrage.....	116
<b>Tableau XIV :</b> Résultat de l'analyse des variances ANOVA et du test « t » de Student appliquée sur la richesse spécifique et l'abondance.....	117
<b>Tableau XV :</b> Résultat de l'analyse des variances ANOVA et du test « t » de Student appliqué sur la biomasse.....	122
<b>Tableau XVI :</b> Occurrence (f%), abondance totale (AT) et biomasse totale (BT) des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés.....	131

<b>Tableau XVII</b> : Composition moyenne du contenu stomacal des Tilapias récoltés dans l'étang témoin ET au terme de la phase de démarrage. ....	139
<b>Tableau XVIII</b> : Données piscicoles moyennes enregistrées au terme de la phase de démarrage.....	140
<b>Tableau XIX</b> : Performances d'élevage enregistrées au terme du cycle complet de l'élevage.....	141
<b>Tableau XX</b> : Evaluation des performances agro-économiques des plans d'eau étudiés.....	142
<b>Tableau XXI</b> : Gestion effective des étangs E1, E2, E3 et ET durant le cycle d'élevage .....	143
<b>Tableau XXII</b> : Scénario d'élevage en polyculture de <i>Clarias gariepinus</i> et <i>Oreochromis niloticus</i> associé à l'élevage de porcs dans un étang en dérivation de 100 m <sup>2</sup> . ...	159

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**APHA**: American Public Health Association

**CS** : Croissance spécifique

**EFA** : Exploitation Familiale Agricole

**FAO** : Food and Agriculture Organisation

**Fig** : Figure

**GB** : Gain de biomasse

**Ha** : Hectare

**Mi** : Mois “i”

**MES** : Matières En Suspension

**MINEPIA** : Ministère de l’Elevage, des Pêches et des Industries Animales

**NTU**: Nephelometric Turbidity Unit

**Pmf** : Poids moyen final

**Pmi** : Poids moyen initial

**Pt-Co**: Platinium- Cobalt

**Si**: Semaine “i”

**SPSS**: Statistical Package for the Social Sciences

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet

**TS** : Taux de Survie

**UC** : Unité Conventionnelle

## RESUME

L'intensification et la diversification des systèmes de production animale sont une approche de solution au problème de malnutrition due à une carence en protéines animales dans l'alimentation. Dans le souci de proposer une stratégie de gestion rationnelle et durable des étangs de pisciculture semi-intensive dans la région écologique de Yaoundé, une étude a été menée à Ekoumdoum en deux phases : la première, dite exploratoire, s'est déroulée de mars à novembre 2012 dans trois étangs-paysans dénommés E1, E2 et E3. La deuxième, dite expérimentale, s'est réalisée de mars à novembre 2014 dans un étang suivi dénommé ET qui a bénéficié d'une attention particulière pendant les trois premiers mois d'élevage. La polyculture de *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* a été préconisée. L'échantillonnage a été effectué de la mise en eau à la pêche (période de grossissement des poissons), à une fréquence hebdomadaire les trois premiers mois d'élevage, et à une fréquence mensuelle le reste de temps. Les paramètres physico-chimiques de l'eau considérés et la chlorophylle *a* ont été analysés suivant les méthodes standards. La richesse spécifique, l'abondance et la biomasse du zooplancton récolté ont été évaluées suivant les méthodes classiques. Le contenu stomacal des poissons a été identifié au terme de la phase de démarrage à l'aide d'une loupe binoculaire, et les poissons récoltés à la fin de l'élevage ont été pesés à l'aide d'une balance Roberval. Un rendement économique a été évalué en prenant en compte les prix actuels des intrants et des extrants sur le marché dans la zone d'étude.

Au cours de cette étude, les paramètres physico-chimiques ont varié significativement entre les différents étangs pendant les deux cycles d'élevage. Les valeurs de température et de la profondeur de disparition du disque de Secchi enregistrées ont fluctué respectivement entre 22 - 27°C et entre 12-45 cm dans les étangs-paysans, entre 24,4-28°C et entre 12-35 cm dans l'étang ET. De même, les valeurs de la dureté calcique ont varié de 2 à 18 mg/L dans les étangs-paysans et de 6 à 32,2 dans ET. Il en est de même pour l'alcalinité et le pH. Les eaux de ces étangs sont particulièrement riches en orthophosphates et en azote ammoniacal avec des teneurs moyennes supérieures à 1mg/L quelle que soit la phase d'étude. Dans l'ensemble, ET a été le plan d'eau le plus riche en éléments nutritifs, le plus chaud, le plus alcalin, le plus dur et le moins transparent, ce qui est favorable à la croissance et à la santé des poissons qui y sont cultivés. Les teneurs des eaux en chlorophylle *a* sont restées pour la plupart de temps très élevées dans les étangs-paysans (en moyenne  $165 \pm 5$  µg/L pendant le démarrage et  $330 \pm 12$  µg/L durant le cycle complet) par rapport à l'étang témoin ( $40 \pm 2$  µg/L pendant le démarrage et  $50 \pm 1,5$  µg/L pendant le cycle complet).

Le nombre d'espèces de zooplancton récoltées était plus élevé dans les étangs-paysans (32 et 42 espèces contre 29 et 34 espèces dans l'étang témoin ET respectivement à la phase de démarrage et

pendant le cycle complet). Dans l'ensemble, la communauté de zooplancton récolté était constituée de 83% de Rotifères, 10% de Cladocères et 7% de Copépodes. Au cours de cette étude, 37317 individus, et 22514 individus au total ont été dénombrés respectivement pendant la phase de démarrage et le cycle complet de l'élevage. Ils proviennent pour 66,5% de l'étang témoin (ET) et pour 33,5% des étangs-paysans. De même, les biomasses totales de 184332,5 mgC/L et 110867,4 mgC/L ont été respectivement enregistrées au démarrage et au cycle complet de l'élevage. L'étang témoin ET a présenté respectivement 92% et 90% de cette biomasse totale. Aussi, ET a présenté de fortes biomasses des Rotifères (*Asplanchna brighwelli*, *Brachionus calyciflorus* et *Brachionus angularis*) et du Cladocère *Moina micrura* alors que les étangs paysans ont présenté une forte biomasse du Copépode *Mesocyclops salinus*.

Au terme de la phase de démarrage dans l'étang ET, le contenu stomacal de *Oreochromis niloticus* pesant moins de 30g est constitué à 99,6% du phytoplancton et du zooplancton. Ce poisson à plus de 30 g s'intéresse aussi aux macroinvertébrés benthiques (19,4%) et à la vase du fond de l'étang. La croissance spécifique de *Oreochromis niloticus* a été de 1,14 g/j dans l'étang ET et d'au plus 0,54 g/j dans les étangs paysans. Celle de *Clarias gariepinus* a été de 2,04 g/j dans l'étang ET et d'au plus 1,5 g/j dans les étangs-paysans. Les performances d'élevage les plus élevées sont enregistrées dans l'étang ET pour les deux espèces de poissons (le gain de biomasse a été de 24 kg pour le tilapia et 81 kg pour le silure par are et le taux de survie de 61% pour le tilapia et 40% pour le silure), et les plus faibles dans l'étang E3 (le gain de biomasse a été de 4,9 kg de tilapia et 17,73 kg de silure par are et le taux de survie de 14,5% pour le tilapia et 9,5% pour le silure). Pour les performances agro-économiques, l'étang ET a été le plus productif avec un taux de rentabilité de 63,1%, et l'étang E3 fait 3% de perte. Le suivi particulier accordé à l'étang ET à la phase de démarrage serait responsable de cette différence de performance de l'ichtyofaune.

Au regard des résultats obtenus, les étangs-paysans sont oligomésotrophes à mésotrophes alors que l'étang-témoin est eutrophe, et les valeurs de l'alcalinité, du pH et de la dureté calcique y sont favorables à l'épanouissement et à la santé des poissons cultivés et donc, responsables des performances d'élevage enregistrées dans l'étang ET. Fort de cette analyse, l'attention particulière (renouvellement progressif de l'eau et amendement calcique à la demande, contrôle permanent de la dureté et de la transparence de l'eau) accordée à l'étang ET à la phase de démarrage a impacté positivement sur la productivité dudit étang.

**Mots clés** : Etang de pisciculture, physico-chimie, chlorophylle *a*, zooplancton, phase de démarrage, cycle complet de l'élevage, Yaoundé.

## ABSTRACT

The intensification and diversification of animal production systems, are alternative solution to the problem of malnutrition due to a deficiency in animal proteins in diet. Pisciculture is one of the animal productions that catches the attention of populations in Africa especially in Cameroon. With the aim of proposing strategy of sustainable management of semi-intensive fishponds, in the Yaoundé ecological region, a study was carried out in Ekoumdoum in two phases. The first outing which was for survey took place from march to november 2012 in 3 local ponds named E1, E2, and E3. The second outing took place from march to november 2014 in an experimental pond named ET. These ponds were fertilized with mineral and organic matter and ET received peculiar attention during the first three months of breeding. The breeding method recommended in these ponds was the polyculture of *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus*. Samples were collected weekly during the first three months (starting phase) and monthly for the rest of the breeding period. The physico-chemical parameters and the chlorophyll *a* of water considered were analysed following standard methods. The specific richness, the abundance and the biomass of the zooplankton sampled were evaluated following standard methods. The stomach content of fishes was identified at the end of the starting phase using a binocular magnifying glass, and all the fish harvested at the end of the breeding cycle was weighed with a Roberval balance. An agroeconomic performance was evaluate referring to the prize of input and output on the market in the area of study.

Physico-chemical parameters had varied significantly between the different ponds during the two breeding cycles. The values of temperature and water transparency obtained moved respectively from 22 to 27°C and from 12 to 45 cm in the peasant ponds, between 24,4 and 28°C and from 12 to 35 cm in the pond ET. Also, the value of calcic hardness varied from 2 to 18 mg/L in the peasant ponds and from 6 to 32,2 mg/L in pond ET. It has been the same for alkalinity and pH. Water from those ponds were rich in orthophosphate and ammonium with average values more than 1 mg/L no matter the step of study. In general, ET has been the richest pond in nutrient, more warm, more alkaline, strong and less transparent. This has favoured the growth and health of fishes bred. The quantities of chlorophyll *a* remained very high most of the time in the local ponds (an average of  $165 \pm 5$  µg/L during the starting phase and  $330 \pm 12$  µg/L during the complete cycle) with respect to the experimental pond ( $40 \pm 2$  µg/L during the starting phase and  $50 \pm 1,5$  µg/L during the complete cycle).

Whatever the breeding phase, the number of species of zooplankton sample is higher in the local ponds (32 and 42 species respectively for the complete cycle and the starting phase) than in the

experimental pond ET (29 and 34 species respectively for the complete cycle and the starting phase). Globally these species of zooplankton are made up of 83% of Rotifera, 10% of Cladocera and 7% of Copepods. During this study, 37317 individuals and 22514 individuals in total were counted respectively at the starting phase and during the complete cycle of rearing with an average representativity of 66,5% for the experimental pond (ET) and 33,5% for the local pond. In the same light, the total biomasses of 184332,5 mg C/L and 110867,4 mg C/L were registered respectively at the starting phase and during the complete cycle of rearing. Pond ET presents respectively 92% and 90% of this biomass. Pond ET has presented the highest biomass of Rotifera (*Asplanchna brighwelli*, *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus angularis*) and Cladocera (*Moina micrura*) while peasant ponds showed the highest biomass of Copepoda (*Mesocyclops salinus*).

At the end of the starting phase in pond ET the stomach content of *Oreochromis niloticus* weighing less than 30g is made of 99,6% of phytoplankton and zooplankton. This fish of more than 30 g also consumed macroinvertebrates (19,4%) and sediments at the bottom of the pond. The specific growth of *Oreochromis niloticus* was 1,14 g/day in pond ET and at most 0,54 g/day in the local ponds. That of *Clarias gariepinus* is of 2,04 g/day in pond ET and at most 1,44 g/day in the local ponds. At the end of the cycle of rearing, the highest performance were registered in pond ET for both species of fish reared (the gain in biomass is of 24kg for tilapia and 81kg for catfish per are and a survival rate of 61% for tilapia and 40% for catfish). The lowest performance were registered in pond E3 (the gain in biomass is 4,9kg for tilapia and 17,73kg for catfish per are with a survival rate of 14,5% for tilapia and 9,5% for catfish). Looking at the agroeconomic performance, pond ET is the most productive with a gain of 63,3% while pond E3 lost 3%. The special care giving to the ponds ET during the starting phase could justify the difference registered between the performances described above.

Referring to the results of the analyses of the physico-chemistry, chlorophyll a and zooplankton, the local ponds are mesotrophic while the experimental pond is eutrophic and here, the values of alkalinity and calcic hardness are favourable for the well being of fish reared and so, responsible for the performance registered in pond ET. Based on these analyses, special attention (control of the water transparency and hardness, control of the behavior of fish early in the morning, the state of the banks and channels of supply and discharge of water) given to pond ET at the starting phase impacted positively on the productivity of the said pond.

**Key words:** Fish pond, physico–chemistry, chlorophyll *a*, zooplankton, starting phase, complete cycle, Yaoundé

# **INTRODUCTION**

Les changements climatiques, la démographie galopante et la pauvreté rendent de plus en plus difficiles les conditions de vie dans le monde. La FAO (1999) déclare qu'environ 11% de personnes dans le monde souffrent de la malnutrition due à une carence en protéines surtout d'origine animale dans l'alimentation. Son rapport en 2016 incrimine particulièrement l'Afrique Centrale et insiste sur la famine dans trois régions du Cameroun (FAO, 2018). PNUD (2018) précise qu'au Cameroun, 15,4% de la population dont 31,7% des enfants de moins de 5 ans souffrent de malnutrition. Pour établir l'équilibre alimentaire des populations, cet organisme pense à l'intensification et à la diversification des systèmes de production animale et végétale.

Dans le domaine de l'élevage, la pisciculture est l'un des outils importants des politiques d'autosuffisance alimentaire longtemps préconisées (FIDA, 2016). Pour maintenir ou améliorer la consommation de poisson qui s'estime déjà à 6,6 kg par an et par habitant, la FAO (2006) suggère que les pays africains prennent en compte la pisciculture rurale et péri-urbaine. Efole Ewoukem (2011) a montré que les Exploitations Familiales Agricoles (EFA) doivent prendre en compte la pisciculture pour maximiser leur rendement. Aussi, le développement de la pisciculture permettrait non seulement de couvrir d'immenses besoins en protéines animales mais réduirait aussi la sortie massive de devises (Agadjihouède *et al.*, 2011). Juegen Voegelé (2014) pense que d'ici 2030, 62% des produits halieutiques consommés pourront provenir des fermes piscicoles ; par conséquent ces dernières doivent développer leurs capacités de production afin de satisfaire la demande croissante des populations.

En effet, dans certains pays africains dont le Cameroun, le poisson couvre environ 50% des apports en protéines d'origine animale (Brummett *et al.*, 2008 ; FAO, 2008). Les poissons consommés au Cameroun proviennent pour 22% de la pêche continentale, 21% de la pêche maritime, 57% des importations et de moins de 1% de la pisciculture (Subasinghe, 2006 et FAO, 2007 ; MINEPIA, 2016). Cependant, la plupart des régions du Cameroun disposent gratuitement ou à bas coût d'un ensemble d'éléments favorables à la pratique de la pisciculture à savoir le climat, le relief, l'hydrographie, les sous-produits d'élevage, les sous-produits agricoles et agro-industriels, une faune ichthyologique endémique et variée (MINEPAT, 2013 et 2016). Ainsi, la satisfaction des besoins de la population en ressources protéiques venant du poisson nécessite une production piscicole de petite, moyenne et grande dimensions, dans un cadre durable (NEPAD, 2005 ; Atangana Kenfack *et al.*, 2019).

De nos jours, au Cameroun, quelques EFA intègrent la pisciculture, mais les performances agro-économiques ne sont pas toujours satisfaisantes (Pouomogne et Pelsm, 2008 ; Efole Ewoukem *et al.*, 2010). En effet, les systèmes piscicoles existants, notamment ceux recyclant la matière organique issue des résidus de cultures et des élevages des exploitations

agricoles sont peu performants et présentent un taux de mortalité élevé au début du cycle d'élevage (Mikolasek *et al.*, 2009a, N'dri *et al.*, 2016 ; Koumi *et al.*, 2016). Plusieurs facteurs, dont la mauvaise gestion de l'eau, la rareté des alevins de qualité, la non maîtrise des techniques d'empoissonnement et même du rythme de fertilisation, sont à l'origine de cette faible performance (Pouomegne et Pelsm, 2008 ; Lazard *et al.*, 2009 et 2010 ; Brummett *et al.*, 2010 ). Les rapports du MINEPIA (2005 et 2009) ont noté ces difficultés particulièrement dans les exploitations piscicoles de la région du Centre-Cameroun notamment dans la ville de Yaoundé et ses environs. Ces difficultés sont liées au manque de formation du pisciculteur, au manque de finances et à la rareté des intrants (N'dri *et al.*, 2016 ; Atangana Kenfack *et al.*, 2019).

A cet effet, plusieurs travaux ont été menés dans le cadre de l'amélioration des systèmes piscicoles intégrés aux exploitations familiales. Il ressort que pour améliorer la productivité de l'étang de façon raisonnable, un apport de fertilisants et/ou d'amendements minéraux s'avère nécessaire (Jamu et Piedrahita, 1996 ; Eгна et Boyd, 1997 ; Kumar et Ayappan, 1998 ; Dabbadié, 1996 et 2008 ; Dabbadié *et al.*, 2002). D'autres recherches se sont focalisées sur les effets d'apports complémentaires d'aliments exogènes (Edwards, 1993 ; Pouomogne, 1994 ; Dabbadié *et al.*, 2002 ; Tamassia, 2011) et sur la combinaison de différentes espèces en polyculture (Lazard et Oswald, 1995 ; Karplus *et al.*, 1996 ; Morissen *et al.*, 1996 ; Milstein, 2005). Parmi les travaux les plus récents au sujet de la viabilité de la pisciculture au Cameroun, on peut citer ceux de Efole Ewoukem (2011) qui portent sur l'optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des EFA dans les régions de l'Ouest et du Centre; ceux de Tiogue (2012) portant sur la domestication de la carpe *Labeobarbus batesii* de la plaine des Mbôs, espèces candidates à la polyculture de poissons en étang, ceux de Zango (2017) qui portent sur l'alimentation des larves de *Clarias jaensis* à base du zooplancton et ceux de Konan *et al.* (2017) qui traitent de la production des espèces locales très prolifiques pour pallier les insuffisances en protéines animales et réduire les importations. Toutefois peu de travaux se sont penchés sur l'attention particulière à accorder aux étangs piscicoles en début du cycle d'élevage. Aussi, les données sur l'écologie du zooplancton des étangs piscicoles ne sont que sommairement documentées.

### **Objectifs du travail**

Dans le souci de développer une stratégie de gestion rationnelle et durable des étangs de pisciculture semi-intensive dans la région écologique de Yaoundé à Ekoumdoum, ce travail avait pour objectif général d'évaluer la structure des communautés zooplanctoniques et leurs effets sur quelques performances zootechniques des poissons dans les étangs piscicoles à faible niveau d'intrants. Plus spécifiquement, il s'est agi durant un cycle complet d'élevage de :

- décrire le fonctionnement physico-chimique et la teneur en chlorophylle *a* des étangs piscicoles pris en compte ;
- déterminer les variations spatio-temporelles de quelques paramètres du zooplancton (richesse spécifique, abondance et biomasse);
- déduire l'influence de la physicochimie sur les paramètres biologiques précédemment examinés pour relever l'effet du suivi particulier des plans d'eau sur leur fonctionnement ;
- évaluer quelques performances zootechniques des poissons et le rendement économique de chaque type d'élevage.

Le présent travail est organisé en chapitres. Le premier traite de la revue de la littérature. Le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés. Le troisième est consacré aux résultats et leur discussion. Ce travail s'achève par une conclusion suivie des recommandations et de quelques perspectives.



**CHAPITRE I : REVUE DE LA  
LITTERATURE**

## **I.1. Historique sur la pisciculture**

### **I.1.1. Définition et formes de pisciculture**

La pisciculture est définie comme l'élevage des poissons. Elle peut se faire dans les retenues aménagées, les étangs et les cages (Assiah *et al*, 1996). En fonction des intrants utilisés, du niveau d'investissement et du degré d'implication de l'homme, on distingue plusieurs formes de pisciculture dont :

- La pisciculture super-intensive qui consiste à produire de très grandes quantités de poissons (>3600 t/ ha/ an) dans des bacs inoxydables avec un renouvellement d'eau de près de 400% par heure. L'alimentation des poissons et le système d'appareillage sont assez particuliers (Lacroix, 2004) ;

- La pisciculture intensive qui consiste à produire dans un minimum d'eau, de grandes quantités de poissons (500 à 3600 t/ ha/ an) en étang à partir d'aliments artificiels. Elle est caractérisée par l'utilisation d'aliments exogènes riches en protéines et d'équipements adéquats (Pouomogne 1998);

- La pisciculture semi-intensive ou semi-extensive caractérisée par une forte implication de l'homme, une forte intégration du système agricole et sa capacité à recycler et à valoriser de nombreux déchets et effluents agro-industriels. Elle est la plus répandue en Afrique à cause de sa souplesse et assure l'essentiel de la production de poissons d'eau douce au Cameroun. Elle peut produire 3,5 à 10 t/ ha/ an par fertilisation ou nourrissage direct (Pouomogne, 1998);

- La pisciculture un peu moins extensive qui consiste à produire du poisson dans des étangs plus ou moins fertilisés avec remplissage sporadique de la matière organique de toute origine. Elle peut produire 1,2 à 2,5 t/ ha/ an de poissons (Pouomogne, 1998);

- La pisciculture extensive qui est la mise en valeur piscicole de certains plans d'eau naturels et des retenues d'eau créées à des fins variées. L'empoissonnement peut aussi se faire à partir du peuplement naturel de la rivière. En termes de durabilité, elle détruit peu l'environnement. Cette dernière forme de pisciculture, encore peu explorée par les chercheurs (Mikolasek et Lazard, 1999) regroupe plusieurs modèles de pisciculture qui reposent sur les dynamiques et le savoir-faire paysan tels que l'empoissonnement et l'exploitation des mares semi-permanentes en zones sahéliennes. Le rendement est de l'ordre de 100 à 750 kg/ ha/ an (Pouomogne, 1998).

### **I.1.2. Historique sur la pisciculture en Afrique**

L'intérêt grandissant porté aujourd'hui à l'aquaculture résulte non seulement de la baisse des réserves naturelles en poissons, occasionnée par la pêche excessive et incontrôlée (Naylor *et al.*, 2000 ; Pauly *et al.*, 2002), mais aussi de la nécessité de produire 40 millions de tonnes de poissons supplémentaires à l'horizon 2030 (FAO, 2018), compte tenu de la stagnation des débarquements de la pêche, de l'augmentation de la population dans le monde et de la transformation de 50% des produits de la pêche en huile et farine servant à l'alimentation animale dont les poissons d'élevage ( Subasinghe, 2006 ; Morin, 2012). Dans ce contexte, l'aquaculture apparaît comme la seule alternative pouvant combler cette forte demande en poisson pour l'alimentation humaine (Anonyme, 2007). Ainsi, pour atteindre ces objectifs, l'accent est mis sur les impacts à court terme de l'aquaculture tels que l'amélioration des revenus, la création d'emplois et l'approvisionnement des marchés en quantités suffisantes de poissons.

A ce premier défi, s'ajoute aujourd'hui la prise en compte des risques liés aux changements climatiques nécessitant une réduction des émissions des gaz à effet de serre pour l'optimisation des différentes formes de productions agricoles. Cette initiative permettrait non seulement d'accroître la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne mais également de contribuer à l'augmentation du stockage de carbone dans les écosystèmes pouvant se traduire par une diminution de 10 à 20% des émissions de CO<sub>2</sub>, qui entraînerait la stabilisation du climat d'ici à l'horizon 2050 (Riedacker et Adjahossou, 2009). L'aquaculture a été instaurée en Afrique noire par les colons après la deuxième guerre mondiale. Ainsi, en Afrique sub-saharienne, l'aquaculture et surtout la pisciculture ont émergé dès les années 1990 grâce à l'approche participative des opérateurs privés ou des collectivités (Bozena et Weigel, 1998). Toutefois, vers 1960 on dénombrait plus de 300 000 étangs dans les colonies de l'Afrique noire (Lazare, 2012).

La satisfaction des populations de l'Afrique en protéines animales nécessite une production aquacole de petite, moyenne et grande dimensions, dans un cadre durable (NEPAD, 2005). Cet objectif rejoint le plan stratégique de développement de l'aquaculture adopté par le Cameroun (MINEPIA, 2005) qui propose un effort gouvernemental de relance du secteur piscicole. Le développement de l'activité piscicole est marqué par de nombreuses innovations liées aux fortes dynamiques de diversification des systèmes de production des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) dans un contexte de changements sociaux et économiques. Ainsi la pisciculture en étang pourrait constituer une voie d'amélioration dans les trois composantes

(sociale, environnementale et économique), de la durabilité des systèmes de production dans les EFA.

### **I.1.3. Historique sur la pisciculture au Cameroun**

Au Cameroun, la pisciculture a été introduite en 1948 avec la construction du premier barrage à vocation piscicole à Yaoundé (Meschkat, 1969 ; Tangou, 2009). A partir de 1952, on note un développement spectaculaire de la pisciculture au sein des Exploitations Familiales Agricoles notamment dans la région des hautes terres de l'Ouest (Lemasson, 1953 ; Tangou, 2009) : une nouvelle activité économique génératrice de revenus, malgré la précarité des techniques et une méconnaissance de la biologie des espèces élevées. En 1954, sous l'impulsion de l'administration coloniale, naîtra un plan de développement de la pisciculture qui a conduit à la construction de 22 stations aquacoles de démonstration jusqu'en 1960 (Pouomogne, 1998 ; FAO, 2004). L'intérêt suscité par cette nouvelle technique de production se traduira par la construction de plus de 10 000 étangs. Après l'indépendance en 1960, de nombreux étangs ont été abandonnés en raison de la désorganisation des services de vulgarisation, et la pisciculture ne s'est développée qu'au rythme de l'aide financière extérieure (Pouomogne et Pemsil, 2008 ; Lazard *et al.*, 2010). Les modes de pisciculture mis en œuvre étaient la monoculture ou la polyculture de *Oreochromis niloticus* et *Heterotis niloticus* soutenues par la production d'alevins des stations piscicoles.

Entre 1961 et 1970, la pisciculture était réalisée juste pour compenser le déficit d'alimentation en protéines animales des populations dans les zones où l'élevage et la pêche ne pouvaient pas le faire. C'est ainsi que la culture du tilapia en étang de barrage a été promue dans le Centre et l'Ouest puis à l'Est, à l'Adamaoua et dans le Littoral. Toutefois, elle est restée une activité de subsistance à production insignifiante. Dès 1971, la politique piscicole visait les techniques piscicoles, l'alimentation du poisson, la recherche de nouvelles espèces cultivables en étang, des zones à potentiel physique, humain et spatial fiable et la formation. Pour cela, *Clarias gariepinus* entre dans la liste des poissons d'élevage au Cameroun suivi de *Cyprinus carpio* et *Ctenopharyngodon idella* (FAO, 2004). Cette politique a été appuyée par de multiples organisations internationales (exemple : FAO) et nationales (exemple : SEMRY) et la banque mondiale. Les investigations ont ainsi abouti aux propositions de la culture des carpes communes, à l'association de la pisciculture à l'élevage terrestre ou à l'agriculture. Entre 1991 et 1995, les pratiques culturelles ont échoué, les porteurs de projets ont disparu et les étangs aménagés ont été abandonnés, ce qui a conduit la filière piscicole à la stagnation voire à la régression (Tangou, 2009).

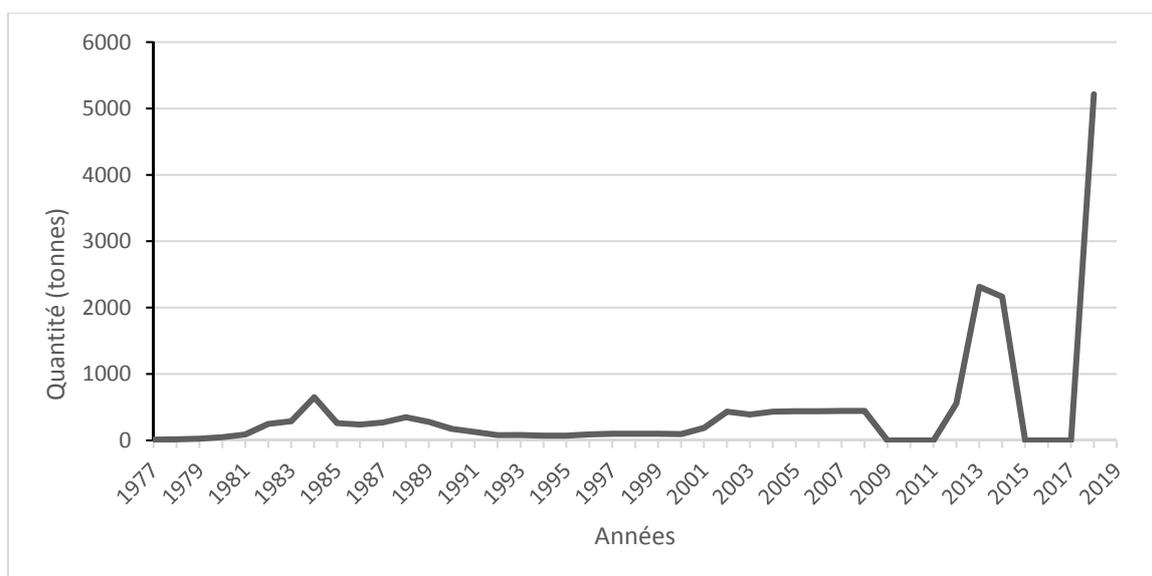
Entre 1994 et 2003, il était question de redéfinir le rôle de l'Etat dans l'aquaculture. Le Cameroun traversait une période de crise économique et l'Etat encourageait l'autonomie des systèmes de production (FIDA, 2016). Les actions sur le terrain ne tenaient plus compte des réalités socioéconomiques et culturelles des zones d'interventions mais encourageaient la démarche participative pour la promotion de la pisciculture (MINEPIA, 2009b). Le rendement se trouvant toujours insuffisant, le MINEPIA dès 2003 a mis sur pied un cadre stratégique pour le développement durable de la pisciculture qui exige cette fois-ci au gouvernement de jouer seulement le rôle de facilitateur, de régulateur et de permettre aux secteurs privés d'être acteurs du développement de l'économie du pays. Dans ce cas, les objectifs de l'aquaculture étaient de satisfaire la demande locale, améliorer la balance commerciale des produits aquacoles, créer les emplois et améliorer l'efficacité de la gestion des ressources naturelles (MINEPIA, 2009a). C'est ainsi que le gouvernement a tenté de créer des stations piscicoles aux acteurs du secteur privé (WFC, 2011). On dénombrait environ 15 000 étangs présentant un rendement moyen de 400 kg/ha en 2004 (FAO, 2004).

La dynamique observée dans le développement de la pisciculture s'est poursuivie avec l'implémentation de nouveaux projets piscicoles tels que la PVCOC (Pisciculture Villageoise rentable dans les régions Centre Ouest du Cameroun) qui avait tenté de vulgariser les techniques de la pisciculture extensive (APDRA, 2011). Ce projet avait été mis en œuvre par le gouvernement avec l'aide de l'ONG française APDRA (Association Pisciculture et Développement Rural en Afrique tropicale humide). Le développement du secteur piscicole restant toujours limité, cette ONG entre 2011 et 2012 s'est associée à deux ONG camerounaises [Services d'Etudes et d'Appui aux Populations à la Base (SEAPB) et le Centre d'Information, de Formation et de Recherche pour le Développement au Cameroun (CIFORD)] pour mettre sur pied le projet de Renforcement des Compétences des Pisciculteurs de la Région du Centre (PRCP). Leur objectif est de renforcer les capacités des acteurs du secteur de la pisciculture paysanne et de poursuivre l'accompagnement des producteurs en cours d'installation et en production (APDRA, 2013). Dans cette même optique, deux autres projets ont été mis sur pied entre 2013 et 2015 : il s'agit du projet de Développement de la Pisciculture dans les régions Centre et Est du Cameroun (PDPCE) et du projet Système Piscicole Extensifs familiaux en Afrique de l'Ouest et Centrale (SyPiEx). L'objectif du PDPCE était d'accompagner les producteurs en cours d'installation ou en production avec un appui technique pendant que le SyPiEx proposait d'identifier et de comprendre les innovations piscicoles au niveau local afin de lever les principales contraintes au développement de l'activité (APDRA, 2013).

Malgré ces efforts, le niveau de production qui a certes augmenté ne satisfait pas la demande locale estimée à 11,57 kg de poissons /habitant /an et par conséquent ne peut pas améliorer la balance commerciale (FAO, 2016). Face à cette difficulté, le gouvernement a lancé en 2014 la construction des centres de production intensive dans plusieurs régions du pays (Centre, Littoral, Sud et Sud-Ouest) et a mis sur pied le projet d'appui au développement de l'élevage du tilapia en cage au Cameroun. L'objectif de ce projet est de produire les alevins localement afin d'approvisionner les pisciculteurs du pays. C'est ainsi que beaucoup de camerounais se sont lancés dans la production intensive de poissons à travers des initiatives gouvernementales telles que le Programme Agropole (en 2014), le Programme de Promotion de l'Entreprenariat Agropastoral des jeunes (PPEA-Jeunes en 2015) dont l'objectif est de soutenir le développement d'entreprises des jeunes hommes et femmes (FIDA, 2016). Dans ce sens, le projet PPEA a fait une importante promotion de l'utilisation d'aliments importés pour la production de *O. niloticus* et *C. gariepinus*. Cependant Atangana Kenfack *et al.* (2019) pensent à une ineffectivité de l'association de la grande majorité des pisciculteurs à cette activité de recherche. En matière de formation professionnelle, le Cameroun dispose des établissements d'enseignements supérieurs (FASA de Dschang, ISH de Douala à Yabassi) et un centre national de formation zootechnique et vétérinaire (CNFZV de Foumban) qui mettent à la disposition de la société chaque année des ingénieurs en sciences halieutiques pour le premier et des techniciens de pêche et d'aquaculture pour le second.

Toutefois, il se pose un réel problème d'approvisionnement en alevins du fait du faible effectif de stations fonctionnelles, combiné à la non-maîtrise des techniques et des modes de gestion piscicole, ce qui entraîne de mauvais résultats ainsi que le découragement de grand nombre de producteurs (Satia *et al.*, 1992 ; Atangana Kenfack *et al.*, 2019). Les méthodes d'élevage les plus utilisées de nos jours sont basées sur l'association de *Oreochromis niloticus* et *Clarias gariepinus* ou *Heterobranchus longifilis* parfois associés à *Heterotis niloticus*, *Parachanna obscura* et/ou *Cyprinus carpio* dans des étangs fertilisés. Des systèmes d'intégration de l'élevage de porc ou de poules sont également pratiqués (Atangana Kenfack *et al.*, 2019).

Au vu de tous ces efforts, la production piscicole a connu une évolution en dents de scie depuis la période coloniale jusqu'à nos jours. Les données statistiques lorsqu'elles existent (fig.1) sont sous-estimées par les services publics et varient selon les efforts et les moyens mis en jeu pour la collecte des données dans les zones de production (FAO, 2008 ; Atangana Kenfack *et al.*, 2019)



**Figure 1 :** Estimation de la production piscicole au Cameroun de 1977 à 2018 (D’après FAO, 2008 et MINEPIA, 2016 et 2019)

Au regard de cette figure, le pic de production observé en 1984 serait le résultat de la pratique de la polyculture par la plupart de pisciculteurs tandis que la chute drastique de la production suivie de la stagnation jusqu’en 2000 résulterait du fait de l’abandon de plusieurs étangs suite à la non-maîtrise des techniques culturales. La forte croissance relative de la production au début des années 2000 serait liée à la promotion de la démarche participative par le gouvernement. La stagnation observée dès l’an 2001 suggère que les systèmes existants, notamment ceux recyclant la matière organique issue des résidus des cultures (ou des cuisines) et des élevages des exploitations agricoles, sont peu performants et par conséquent non pérennes (Pouomogne et Pemls, 2008 ; FIDA, 2016). La forte production enregistrée dès 2013 bien qu’insuffisante serait le résultat des actions conjuguées des ONGs, l’amélioration des techniques culturales et la promotion de l’entreprenariat agropastorale des jeunes. L’absence de données observée entre 2008 et 2011 puis 2015 à 2017 n’indique pas un arrêt de production mais plutôt une absence de collecte par les pouvoirs publics.

Dans l’ensemble, la production piscicole est tributaire des contraintes relevant du mode de gestion du secteur par les pouvoirs publics, du financement, de l’aménagement des structures et de leur gestion (Atangana Kenfack *et al.*, 2019). En effet, dans les Exploitations Familiales Agricoles, il se pose toujours le problème de manque d’alevins de qualité, lié à une absence ou à une mauvaise gestion des géniteurs, ce qui oblige les producteurs à avoir recours aux prélèvements dans le milieu naturel (Tiogué *et al.*, 2008 ; Pouomogne, 2008 ; Brummett *et al.*, 2010) ; de la rareté des espèces endogènes véritablement domestiquée (Zango *et al.*, 2016). A cela s’ajoute le taux de mortalité élevé le premier mois d’élevage, le coût élevé de l’aliment

(Nna *et al.*, 2003) et le nombre réduit d'espèces candidates à la polyculture en étang (en particulier des Cyprinidés macro/microphages), qui ne permet pas une valorisation optimale du réseau trophique de l'écosystème aquatique (Dabbadie *et al.*, 2002). A côté de toutes ces raisons peuvent aussi s'inscrire le vol, la prédation pratiquée par les animaux sauvages ainsi que le manque de formation et d'informations des paysans sur les pratiques piscicoles (Hirigoyen *et al.*, 1997).

La combinaison de ces facteurs défavorables n'a pas permis le développement à grande échelle d'une activité de pisciculture économiquement viable et par conséquent capable de renforcer la durabilité des Exploitations Familiales Agricoles dont elle fait partie (Kriesemer, 2009 ; Lazard *et al.* 2009, 2010 ; Brummett *et al.*, 2010). Paradoxalement, c'est bien l'Exploitation Agricole Familiale (EFA) qui porte la pisciculture d'Afrique subsaharienne et notamment celle du Cameroun (Pouomogne et Pelsm, 2008).

En ce qui concerne la performance du secteur piscicole au Cameroun, le nombre de pisciculteurs augmente avec le temps. De 3000 pisciculteurs possédant environ 5000 étangs de 200 hectares au total en 1997 (Pouomogne, 1998), on est passé à 4000 pisciculteurs possédant 7000 étangs d'environ 245 hectares de superficie totale à la fin de l'année 2004 (Pouomogne, 2005). FAO (2016) dénombre 10 000 pisciculteurs dont 600 femmes et estime la surface totale exploitée à plus de 250 hectares avec une production totale d'environ 850 tonnes de poissons seulement. Toutefois, cette activité se heurte aussi aux difficultés d'ordre sociale tels que la faible compétence managériale des promoteurs et des pouvoirs publics, l'absence de garantie financière et les problèmes fonciers (Atangana Kenfack *et al.*, 2019).

Face à cette difficulté, Koffi *et al.* (1996) suggeraient déjà que la pisciculture au Cameroun s'intègre essentiellement à l'environnement de la population cible ; elle devrait être en mesure de mieux valoriser les facteurs de production existants tels que le foncier, l'eau, la main d'œuvre et les intrants disponibles dans l'environnement immédiat. Pour cela, la pisciculture extensive ou semi-intensive doit bénéficier d'une attention particulière.

#### **I.1.4. Production agro-piscicole dans la région du Centre-Cameroun**

##### **I.1.4.1. Production agricole**

Le climat est de type équatorial modifié par l'altitude et la continentalité, et il est qualifié de climat yaoundéen par Suchel (1987). Il comprend quatre saisons inégalement réparties en deux saisons sèches (décembre-février et juin-août) et deux saisons de pluies (mars-mai et septembre-novembre). La moyenne annuelle des précipitations est de 1700 mm et la

gamme de la température de 19- 28°C. La végétation est celle de la forêt dense fortement modifiée par l'homme pour l'urbanisation et les cultures. La densité de la population est de 44,9 habitants/km<sup>2</sup> (BUCREP, 2010). La configuration des exploitations et la gestion des espaces cultivés sont fort différentes de celles des hautes terres de l'Ouest avec la pratique de la jachère et des cultures itinérantes sur brûlis (Efole Ewoukem, 2011). La principale culture de rente est le cacao (*Theobroma cacao*), les cultures vivrières sont la banane plantain (*Musa sapientum*), le maïs (*Zea mays*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le manioc (*Manihot esculenta*), le macabo (*Xanthosoma sagittifolium*). Dans cette région, les paysans cultivent aussi les produits maraîchers et les arbres fruitiers. De même, l'aviculture suivie de la porciculture retiennent leur l'attention.

#### **I.1.4.2. Production piscicole**

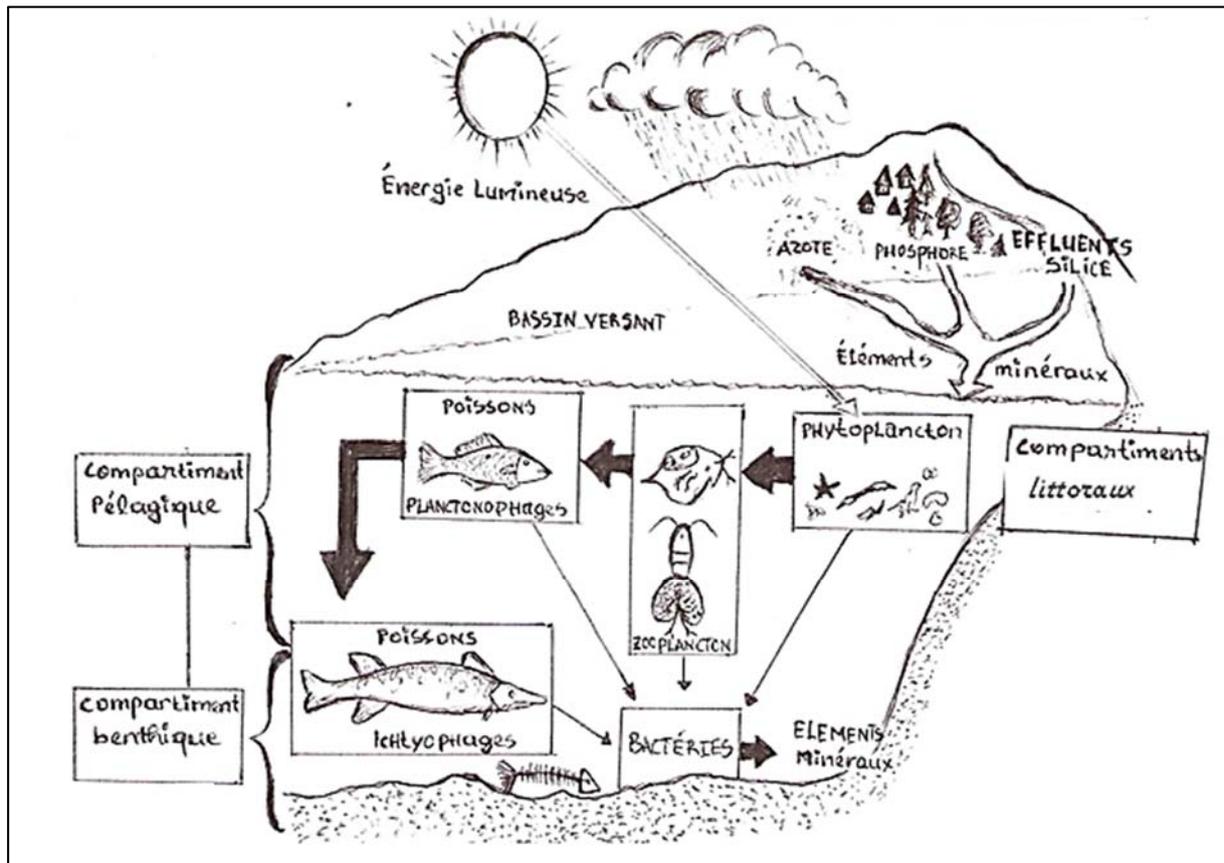
Une étude exploratoire menée par Efole Ewoukem (2011) dans la région du Centre au Cameroun a relevé que la quantité moyenne de poissons d'étang produite est faible ( $0,5 \pm 1,09$ t/ha/an) comparativement à celle de la région de l'Ouest qui est de  $1,4 \pm 2,09$  t/ha/an. Ces poissons servent majoritairement à l'autoconsommation et aux dons, très peu sont vendus. La taille des étangs de production varie de 200 à 7200 m<sup>2</sup> et ces pièces d'eau sont à 44% de type barrage sans canal de contournement, 31% de type barrage dérivé et 25% alimenté uniquement par la nappe phréatique (MINEPIA, 2009a). De toutes les fermes piscicoles fonctionnelles dans cette région, 82% intègrent la production végétale et très peu seulement associent aussi la production des animaux terrestres (Efole Ewoukem, 2011). La main d'œuvre est exclusivement familiale. Brummett *et al.* (2004 b) puis Mikolasek *et al.* (2009 a) affirment que la base d'empeusement est essentiellement constituée de trois espèces de poissons exploitées en polyculture : il s'agit de *Oreochromis niloticus*, *Clarias gariepinus*, *Cyprinus carpio*. A ces espèces sont parfois associés selon la disponibilité, *Heterotis niloticus* (Kanga) et/ou *Parachanna obscura* (Poisson-vipère). Les alevins, même ceux du Tilapia, proviennent en majorité (56%) d'une éclosérie ou ferme tierce (Lacroix, 2004 ; Mikolasek *et al.*, 2009 a). Dans les autres cas, les alevins proviennent du milieu naturel par manque de structure annexe proche pour les nouvelles fermes ou de techniques d'autogestion. Le foncier provient à 75% de l'héritage familial, seulement 19% proviennent de l'achat et 6% de dons (MINEPIA, 2012).

#### **I.2. Fonctionnement d'un étang piscicole**

Un étang de pisciculture est une petite collection d'eau dormante dont la genèse et l'historique dépendent directement de l'homme qui l'assèche périodiquement, le remplit et le



- Le compartiment benthique ;
- Le compartiment littoral.



**Figure 3 :** Illustration des différents compartiments d'un étang piscicole (D'après Dévaux, 1977 modifié)

Le compartiment pélagique est la zone de pleine eau, peuplée par le plancton bactérien (bactério-plancton), végétal (phytoplancton), animal (zooplancton), le pleuston (organisme vivant à l'interface air-eau), le necton (organismes pélagiques nageurs capables de déplacement autonome) et les détritiques. Les bactéries aquatiques jouent un rôle essentiel dans le recyclage des matériaux organiques et inorganiques (Lanoiselée, 1984). Elles s'associent aux champignons saprophytiques et aux protozoaires pour assurer le recyclage des particules organiques mortes ou introduites dans le plan d'eau. Le phytoplancton comprend les algues de petite taille, d'environ 20  $\mu\text{m}$  (chlorococcales, volvocales, diatomées et euglénophycées) et les cyanobactéries dont de nombreuses espèces sont de grande taille (d'environ 400  $\mu\text{m}$ ) (Shlumberger, 2002). Trois groupes forment l'essentiel du zooplancton dans les étangs piscicoles à savoir : les Rotifères filtreurs pour la plupart, colonisent rapidement le milieu, les crustacés Cladocères filtreurs, et les Copépodes qui peuvent être filtreurs, prédateurs, omnivores ou carnivores (Dabbadié, 1996). Les poissons planctonophages (necton) vivent aussi dans ce compartiment.

Le compartiment benthique, au fond de l'étang, comprend le sédiment et l'interface eau-sédiment. C'est à ce niveau que se réalise l'essentiel de la décomposition microbienne. Cette zone est peuplée majoritairement des bactéries. Les algues benthiques (Diatomées), les microzoobenthos (Spongiaires, Bryozoaires, Turbellariés etc...) les macrozoobenthos (gastéropodes, coléoptères, chironomes, amphipodes, décapodes etc...) font aussi partie du peuplement dans ce compartiment (Giani et Laville, 1995). Cette diversité se traduit par une grande hétérogénéité dans la distribution des organismes, leurs modes de nutrition, leur stratégie de reproduction, leurs caractéristiques morphologiques et comportementales.

Le compartiment littoral est constitué par l'ensemble des êtres vivants fixés sur ou à proximité des substrats immergés. Bactéries, Cyanobactéries, Euglénophycées, Xanthophycées, Chrysophycées et Diatomées forment l'essentiel du périphyton (Dabbadié, 1996). De même, la faune du périphyton comporte les protozoaires, les Rotifères, les Microcrustacées qui adoptent périodiquement un comportement périphytique.

### **I.2.2. Dynamique du peuplement dans un étang piscicole**

La production piscicole se réalise à l'occasion de cycles à l'issue desquels les étangs sont entièrement vidangés et asséchés. Pendant la période de colonisation de l'étang, qui dure de quelques jours à quelques semaines (Legendre *et al.*, 1987), de nombreux changements contribuent à la structuration du peuplement d'un environnement initialement pauvre en organismes vivants et dont le niveau d'organisation est très faible (Guiral *et al.*, 1994). A ce stade, les processus de régulation sont essentiellement dûs à des facteurs endogènes liés aux capacités de dissémination des espèces présentes (Alexandra, 2018). En effet, un milieu riche en carbone et pauvre en azote favorise le comportement organotrophe des bactéries et en conséquence, est responsable du développement du micro-zooplancton bactériophage (nauplius, Rotifères...). Au contraire, une fertilisation riche en azote favorise le comportement minéralisateur des bactéries et, par l'intermédiaire du phytoplancton, provoque le développement du macro-zooplancton (Bérard, 1993 ; Schlumberger et Bouretz, 2018 ; Alexandra, 2018).

Bien que la dynamique des communautés planctoniques soit abondamment décrite dans la littérature, il n'existe pas de modèle applicable pour les étangs de pisciculture (Schlumberger, 2002). Ces milieux sont complexes et variables pour être facilement représentés par des fonctionnements simplifiés se préoccupant seulement de la chaîne « *producteurs primaires-phytoplanctonophages-zooplanctonophages* » (Billard et Marie, 1980). De nombreuses chaînes alimentaires excluant les producteurs primaires sont mises en place dans les étangs piscicoles. En effet, de nombreux travaux ont montré l'existence des comportements hétérotrophes et leur

impact sur l'augmentation du rendement piscicole (Schroeder, 1980 ; Green *et al.*, 1990 ; Pouomogne, 1998). Toutefois, leur contribution au transfert d'énergie dans l'étang semble très variable selon les milieux. Elle passe souvent inaperçue, lorsque l'ensoleillement est élevé et que le milieu est riche en carbonates et minéraux (Schroeder *et al.*, 1990), mais quand l'eau est acide et pauvre en nutriments, Wohlfarth et Schroeder (1991) pensent qu'elle peut pleinement exprimer ses potentialités. La plupart des organismes planctoniques ont donc une alimentation diversifiée et variable suivant les conditions environnementales (Bérard, 1993 ; Schlumberger, 2002, Aka N'guessan *et al.*, 2018).

Le processus de régulation des compartiments benthique et périphytique est encore peu connu (Giani et Laville, 1995). Pourtant, leur rôle est essentiel dans la production piscicole. Cependant, le benthos diffère du périphyton du fait que le benthos fonctionne partiellement de façon anaérobie (Blackburn, 1987). Les travaux sur ce sujet utilisent généralement une classification fonctionnelle basée sur les mécanismes nutritionnels et sur des transferts d'énergie en chaîne (Giani et Laville, 1995). Le fonctionnement des compartiments benthiques et périphytiques peut donc s'appliquer à celui du compartiment pélagique.

De nombreuses interactions et les flux de matière sont répertoriés entre ces différents compartiments. La production du benthos dépend essentiellement des matières organiques produites dans la zone pélagique. Schroeder (1980) a observé en étang que le taux de sédimentation des cellules phytoplanctoniques était équivalent au taux de production primaire. De même, le sédiment capte une grande partie des éléments nutritifs provenant des épandages (Boyd et Musig, 1981) et peut ultérieurement les remettre à la disposition du réseau trophique pélagique, par brassage de l'interface eau/sédiment (Blackburn, 1987). Au niveau des producteurs primaires, des compétitions pour la lumière ou les sels nutritifs interviennent et marquent surtout les interactions entre le phytoplancton, le périphyton et parfois même les algues benthiques. Hannson (1988) a montré que les algues planctoniques utilisent le phosphore beaucoup plus efficacement que le périphyton et lorsqu'elles se développent en masse, la lumière pénètre peu dans l'eau, ce qui nuit aux algues du compartiment benthique. Quant à la faune, nombreux sont les organismes qui se nourrissent à partir des interfaces ou encore migrent d'un compartiment à l'autre pour le faire. En effet les organismes filtreurs du benthos se nourrissent à partir des particules pélagiques (Giani et Laville, 1995) alors que de nombreux crustacés cladocères du plancton tel que *Chydorus sp.*, consomment les algues et détritiques du périphyton (Wetzel, 1983) ou du benthos (Giani et Laville, 1995). De même, le poisson en étang développe plusieurs stratégies alimentaires pour tirer profit de son milieu de vie.

### **I.2.3. Stratégies alimentaires des poissons en étang**

La recherche d'aliments par le poisson est une opération coûteuse, en temps et en énergie, suivant les stratégies mises en œuvre. La différence entre l'énergie ingérée et celle dépensée dans la quête alimentaire peut être définie comme le gain net d'énergie. Selon le concept de la recherche de nourriture optimisée, les stratégies alimentaires mises en œuvre par le poisson visent à optimiser le temps et l'énergie alloués aux diverses activités liées à la nutrition, de manière à maximiser le gain net d'énergie (Pinel-Alloul, 1995). Chez les poissons, lorsqu'un aliment est découvert, la recherche du second aliment est réalisée dans la proximité immédiate de la zone où le premier a été trouvé. Cependant, si cette seconde recherche se solde par un échec, le poisson parcourt une longue distance pour prospector des zones non encore explorées. Les zones pauvres en proies sont ainsi détectées et systématiquement évitées (Dabbadié, 1996).

Lorsque le poisson a à sa disposition différents aliments à contenu énergétique variable, un choix trophique doit être réalisé. Pour cela, l'analyse des pertes et des bénéfices est mise en équation par le poisson et permet de choisir l'aliment à ingérer. En effet, les proies de grande taille sont plus riches en énergie que les petites. Aussi, lorsque les proies sont abondantes, la prédation est essentiellement exercée sur les grandes formes, d'autant plus qu'elles sont plus visibles et plus riches en énergie. En revanche, lorsque les ressources trophiques sont peu denses, les poissons prélèvent leurs aliments dans toutes les classes de taille (Dabbadié, 1996). Par ailleurs, le poisson détecte ses proies de plusieurs façons. La détection peut se faire grâce à la vue lorsque la turbidité de l'eau le permet, la vue étant le sens le plus développé chez cet animal ; soit grâce au chémorécepteur (l'odeur ou le goût des aliments l'attirent (Beveridge *et al*, 1989) ou soit par mécanoréception (détecter les vibrations grâce à son système acoustique et à sa ligne latérale).

### **I.2.4. Impact du poisson sur l'étang piscicole**

L'alimentation des poissons a un double effet sur l'écosystème de l'étang à savoir des effets directs et indirects.

#### **I.2.4.1. Effets directs**

La prédation exercée par les poissons sur les autres peuplements de l'écosystème conduit généralement à une évolution structurale des communautés benthique et planctonique vers les formes de plus petites tailles, ou vers les formes ayant un comportement de camouflage ainsi qu'à une diminution de densité de certaines espèces (Délincé, 1992). Cette élimination s'accompagne d'un enrichissement de l'eau en particules de matières organiques et du développement d'une flore bactérienne. Les poissons planctonophages qui chassent à vue,

consomment préférentiellement les organismes de grande taille et induisent une modification de la composition spécifique du plancton (Northcote, 1988). Les poissons planctonophages filtreurs défavorisent la population zooplanctonique ayant la plus grande faculté d'échappement et la prolifération des algues (Lazzaro, 1987). Le compartiment périphytique n'est pas en reste. En effet, les étangs non empoisonnés sont beaucoup plus riches en périphyton que ceux qui le sont (Spencer et King, 1984). Le broutage du péryphyton est apparemment fréquent, intense et peut avoir une importance considérable sur les transferts d'énergie du périphyton au poisson (Northcote, 1998).

#### **I.2.4.2. Effets indirects**

Les stratégies alimentaires mises en jeu par le poisson affectent la transparence de l'eau et le cycle des nutriments (Dabbadié, 1996). Ainsi, les espèces benthophages fouisseuses remettent en suspension le sédiment et augmentent la turbidité argileuse qui nuit à la production primaire (Délincé, 1992). Au contraire, cette remise en suspension stimule les échanges d'éléments nutritifs entre la vase et l'eau, ce qui est favorable à la production planctonique. Les poissons peuvent ainsi accroître l'efficacité des fertilisants riches en phosphate par bioturbation (Jana et Das, 1992). Les biomanipulations réduisent le développement du phytoplancton, augmentent ainsi la transparence et favorisent le développement d'organismes zooplanctoniques à capacité de filtration (Spencer et King, 1984).

Par ailleurs, les excréta liquides libèrent des nutriments directement assimilables par les producteurs primaires, alors que les fèces, en l'absence de consommation directe, exercent une action plus lente. Les poissons favorisent ainsi le recyclage rapide de certains éléments tels que le phosphore et stimulent le développement des micro-algues (Kraft, 1992). Le broutage intense du phytoplancton ou du périphyton permet d'accroître la production primaire, malgré la réduction de leur biomasse. La prédation exercée sur le zooplancton réduit l'abondance des organismes de grande taille et favorise indirectement le développement des organismes de petite taille (Aka N'guessan *et al.*, 2018). Cependant, le développement de petites formes zooplanctoniques accroît souvent la libération des nutriments, en particulier le phosphore (Northcote, 1988), les rendant disponible pour les micro-algues.

Une bonne maîtrise du fonctionnement de l'étang piscicole dans l'ensemble par le pisciculteur contribuerait à l'évolution de la pisciculture au Cameroun.

### **I.3. Mode d'élevage et d'alimentation de poisson en étang**

#### **I.3.1. Mode d'élevage de poisson en étang**

L'élevage de poisson se fait par deux principales méthodes : la monoculture et la polyculture. Dans la monoculture, le stress interspécifique est absent, cependant, les ressources

alimentaires disponibles dans le plan d'eau ne sont pas totalement exploitées par le poisson élevé (El-Sayed, 2006 ; Efole Ewoukem, 2011). La polyculture est la méthode qui intéresse le plus les pisciculteurs. Elle consiste à élever dans un même étang plus d'une espèce de poissons aux régimes alimentaires complémentaires, afin de valoriser au mieux toutes les ressources trophiques naturelles du milieu, d'accroître la biomasse en poisson et le cas échéant, de bénéficier d'effets synergiques entre les différentes espèces (Efole Ewoukem, 2011 ; Zango, 2017). La réussite de ce mode d'élevage prend en compte plusieurs paramètres dont, les niches écologiques préférentielles des espèces sollicitées, les proportions densitaires à la mise en charge de l'étang, le mode d'alimentation de l'étang. Par exemple en Côte d'Ivoire, Dabbadie *et al.* (2002) puis Dabbadie (2008) relèvent qu'un rapport de 1 *Tilapia* monosexé mâle (*Oreochromis niloticus*) pour 0,03 *Heterotis niloticus*, 0,04 *Heterobranchus isopterus* (ou 1 *Clarias sp*) et 0,2 *Hemichromis fasciatus* augmentent la production de plus de 40% par rapport à la monoculture de *Tilapia*. Ainsi la polyculture permettrait d'accroître le revenu final sans augmenter l'investissement initial ou l'apport d'intrants. Pour Tamassia (2011), l'ajout d'espèces même à croissance modérée permet une meilleure exploitation des ressources trophiques naturelles produites dans l'étang.

Le *Clarias* est fréquemment associé au *Tilapia* en polyculture bien qu'il existe une certaine compétition alimentaire entre les deux espèces (Lazard et Oswald, 1995). Le *Clarias* se révèle être un piètre prédateur d'alevins de *Tilapia* (Lazard et Oswald, 1995) à de faibles densités de mise en charge (0,1 ind/m<sup>2</sup>). Il peut cependant devenir efficace à de fortes densités et à des poids moyens élevés (Bogne Sadeu *et al.*, 2008 ; Olele et Tighiri, 2012). En polyculture de *Tilapia*, la contribution du *Clarias* au rendement final avoisine souvent les 50% (Lazard et Oswald, 1995 ; Dabbadie *et al.*, 2002 ; Dabbadie, 2008). Le *Clarias* affecte parfois considérablement la population de *Tilapias* en cas de prolongement du cycle d'élevage (Agbohessi *et al.*, 2018). En effet, du fait de sa forte croissance, il a tendance à délaissier les alevins au détriment des *Tilapias* plus gros, affectant ainsi le rendement final de production. En Côte d'Ivoire, Morissens *et al.* (1996) ont relevé une augmentation du rendement global de production de 4 à 6,3 t/ha/an de *Tilapia* monosexé mâle recevant un aliment simple et de la fertilisation, quand il est associé au *Clarias gariepinus* aux densités de 0,25 *Clarias*/m<sup>2</sup> pour 1,95 *Tilapia*/m<sup>2</sup>. L'association *Tilapia* – *Clarias* génère des rendements économiques supérieurs à ceux d'un élevage de *Tilapia* en sexes mélangés (Dabbadie *et al.*, 2002 ; Dabbadie, 2008). Dans certains cas, cette association pourrait être plus intéressante qu'un élevage monosexé mâle de *Tilapias* en raison du prix de vente plus élevé du *Clarias* sur le marché (Copin et Oswald, 1993).

La polyculture constitue également une stratégie de réduction des risques, puisque les différentes espèces ont des exigences écologiques et des valeurs commerciales différentes. En outre, elle permet de contrôler des organismes indésirables dans les étangs. Par exemple, il a été observé dans des étangs de Tilapia *O. niloticus*, que l'introduction à la fois de 200 *Heterotis niloticus* et de 200 à 600 poissons carnivores par hectare (*Hemichromis fasciatus*, *Parachanna obscura*, *Heterobranchus isopterus* ou *Clarias sp.*) permet d'éliminer les mollusques, les têtards de grenouille et les petits poissons indésirables (Dabbadie, 2008). La polyculture est autant importante que la maîtrise des proportions densitaires à appliquer lors de l'empoissonnement.

### **I.3.2. Empoisonnement de l'étang**

L'empoissonnement d'un étang piscicole est l'action de mettre en charge le dit plan d'eau ; c'est aussi l'action d'ensemencer l'étang. La détermination de la quantité et de la qualité de la semence tient compte du mode d'élevage sollicité, de la biologie des espèces disponibles et des conditions socio-environnementales du milieu (Brummett & Noble, 1995). La densité est un facteur de régulation du taux de croissance moyen des poissons et par conséquent de la durée de la période d'élevage. Glasser et Oswald (2001) montrent pour des élevages de monoculture de Tilapia que, pour un niveau d'intrant donné, le rendement augmente avec la densité d'empoissonnement, puis diminue au-delà d'une densité optimale. Cependant, l'augmentation de la taille marchande compense partiellement le rendement lorsque la densité d'empoissonnement est faible (Olele et Tighiri, 2012). Par ailleurs, le prix de vente au kg est en général supérieur pour les gros poissons. Dabbadie *et al.* (2002) relèvent en Côte d'Ivoire que les densités de charge de 0,4 et 0,7 Tilapias/m<sup>2</sup> comparativement à 2 Tilapias/m<sup>2</sup> couramment pratiquées donnent de meilleures croissances individuelles ainsi qu'un rendement plus intéressant dans les systèmes piscicoles semi-intensifs utilisant uniquement du son de riz.

Aussi, la croissance et le rendement sont corrélés à la densité d'empoissonnement (Tableau I) et la biologie des espèces sollicitées en cas de polyculture (Anonyme, 1993). Lacroix (2004) puis Agbohessi *et al.* (2018) pensent qu'en cas de polyculture, il faut tout d'abord distinguer l'espèce principale des espèces ou de l'espèce secondaire afin de se pencher sur les proportions densitaires à appliquer pendant l'empoissonnement. *Oreochromis niloticus* semble être considérée comme espèce principale dans plusieurs cas de polyculture en Afrique sub-saharienne (Dabbadié, 1996) et particulièrement au Cameroun (Pouomogne, 1998) en raison de sa facilité d'élevage et de sa valeur sur le marché. Les silures sont cependant les plus sollicités dans la région écologique de Yaoundé (Mikolasek *et al.*, 2009 a). Ainsi, La densité d'empoissonnement du tilapia étant un élément essentiel de la gestion des étangs en zone

tropicale, Oswald et Copin (1992) ont recommandé une charge voisine à deux Tilapias et un silure de quelques centimètres par m<sup>2</sup>. Mais l'application de cette densité donne des résultats très variables dans les fermes. Cependant, la mise en charge de deux alevins de *Oreochromis niloticus* par m<sup>2</sup> pris comme espèce principale est régulièrement appliquée dans les régions du Nord-Ouest et Ouest au Cameroun et produit des résultats satisfaisants (Pouomogne, 1998). Pour ce même auteur, les espèces secondaires sont soit *Clarias gariepinus* à la densité d'environ un alevin par m<sup>2</sup>, soit une association de 0,5 *Tilapia cameronensis* + 0,2 *Clarias gariepinus* + 0,1 *Hemichromis fasciatis* par m<sup>2</sup> qu'on introduit lorsque *Oreochromis niloticus* a une taille minimale de 6 g.

**Tableau I :** Rendement et poids moyen final de tilapia monosexé (*Oreochromis niloticus*) élevé en étang en Afrique sub-saharienne en fonction de la densité d'élevage et un même niveau d'intrants (adapté d'après Dabbadie, 1996 ; Glasser et Oswald, 2001).

Densité de mise en charge (ind. /m <sup>2</sup> )	Poids moyen individuel final (g)	Rendement (t/ha/an)
0,1	600	1
0,4	500	4
0,7	400	5,5
1	300	6
1,2	134	3,1
1,5	131	2,9

### I.3.3. Alimentation des poissons en étang

La productivité de l'étang, quel que soit le niveau d'apport trophique (faible ou élevé), est dépendante des caractéristiques pédologiques de son bassin versant, de l'eau qui l'alimente, ainsi que de la gestion des apports exogènes d'aliments minéraux et/ou organiques riches en carbone (C), azote (N) et phosphore (P). Mc Nabb *et al.* (1990) proposaient en Thaïlande un rapport 50C:10N:1P pour un bon développement de phytoplancton et des poissons. D'après Egna et Boyd (1997), les rapports moyens observés lors des meilleurs rendements seraient de 40C:10N et 8N:1P dans les étangs tropicaux. Ils montrent aussi qu'un abaissement à 2N:1P voire 1N:1P est nécessaire en condition de faible alcalinité. Les apports notamment en azote, en phosphore et éventuellement en carbone stimulent la production primaire, base du réseau trophique, au travers du processus photosynthétique. En pisciculture d'étang l'équilibre C/N/P est géré par l'apport de fumures, d'amendements minéraux, de sous-produits agricoles et/ou d'aliments formulés qui ont un effet direct ou indirect sur la chimie de l'eau. Les fertilisants des étangs peuvent être les plantes, les excréments du bétail ou de la volaille, les déchets et les eaux usées des usines de transformations alimentaires, ou encore des engrais chimiques.

L'amélioration des rendements piscicoles par la fertilisation est une pratique ancienne. Il s'agit d'une tradition bien connue en Chine où les fumures animales et les déjections humaines sont utilisées comme principale source d'apport en fertilisants dans les étangs de polyculture de carpes (Pouomogne, 1998). D'après Dabbadie (1996), les techniques de fertilisation à mettre en œuvre pour maximiser la production piscicole devraient favoriser le développement du périphyton et du benthos qui constituent des réserves trophiques stables pour les poissons que celui du plancton. Il relève également que les étangs dont le sédiment est très sableux ne sont pas favorables à ce type d'apports en raison des temps de séjour courts de l'eau. Les fertilisants sont constitués par tous les produits dont l'emploi est destiné à entretenir ou améliorer la production primaire de l'étang ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques du milieu (Van De Kerchove *et al.*, 2002). Dans les systèmes d'élevage à faible niveau d'intrants, la production est essentiellement basée sur la productivité naturelle des étangs. Cette dernière est fonction de la quantité et du type d'apports en nutriments. En fonction de leur origine on distingue deux types de fertilisants ; les fertilisants minéraux et les fertilisants organiques.

#### **I.3.3.1. Fertilisants minéraux**

Les fertilisants minéraux sont constitués des engrais chimiques essentiellement l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) apportés pour stimuler la productivité primaire dans le milieu. Un apport de 40 kg de N, 20 kg de P et 30 kg de K par hectare par an a permis d'obtenir un rendement en poisson (*Cyprinus carpio*, *Ctenopharyngodon idella*) de 10 t/ha/an en système intégré riz-poisson en Inde (Kumar et Ayyapan, 1998). En plus de la fertilisation de base appliquée au début du cycle d'élevage, un fumage continu doit être effectué et pour cela, plusieurs procédés sont disponibles. Ainsi les schémas d'apport d'engrais minéraux ayant donné des résultats probants dans la région de l'Ouest du Cameroun sont les suivants (Pouomogne, 1998) :

- 30 kg/ha de superphosphate et 30 kg/ha de sulfate d'ammonium tous les 15 jours pendant les six premières semaines, puis une fois par mois quand cela est nécessaire ;

- 5 épandages de 45 kg/ha d'engrais 20 N – 20 P – 5 K à 3 semaines d'intervalle pendant les six premières semaines, puis une fois par mois si nécessaire ;

- plusieurs épandages de 50 kg/ha d'engrais 20 N – 10 P – 10 K à 2 semaines d'intervalle jusqu'à ce que la transparence reste inférieure à 25 cm.

#### **I.3.3.2. Fertilisants organiques**

Les fertilisants organiques sont des produits d'origine animale ou végétale. Ils apportent dans l'étang principalement de l'azote, du carbone, du phosphore et quelques autres minéraux.

### I.3.3.2.1. Fertilisants organiques d'origine végétale

Les fertilisants organiques d'origine végétale sont des sous-produits de l'agriculture utilisés soit directement par les poissons comme aliments, soit indirectement comme fertilisant organique capable d'induire la production primaire après un compostage intra ou extra étang. Selon leur composition, la dégradation des sous-produits végétaux fournirait à l'étang plus ou moins de nutriments biogènes et d'amendements calciques pour la production photosynthétique (Friot, 2002).

A l'exception de la carpe herbivore *Ctenopharyngodon idella*, les poissons de pisciculture, dans leur grande majorité, ne sont pas capables d'utiliser la matière végétale. En polyculture de carpe commune (*Cyprinus carpio*) et de carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*), des rendements de l'ordre de 3t /ha/an ont été obtenus en Inde uniquement avec des apports de matière végétale. La carpe herbivore tout en transformant les végétaux rejette des fèces qui servent d'aliment pour la carpe commune et de support aux bactéries (Kumar et Ayyapan, 1998). Kangmin & Peizhen (1995) avaient déjà relevé que les excréments des carpes herbivores à leur tour fertilisent l'eau des étangs et nourrissent le plancton de sorte qu'une prise de poids de 1 kg de la carpe herbivore peut en général entraîner une prise de poids de 0,48 kg chez les planctonophages. De même, en Israël, les étangs contenant les *Cyprinus carpio* (carpe commune), *Hypothalmichtys molithrix* (carpe argentée) et de *Oreochromis niloticus*, fumés et fertilisés artificiellement, montrent des exemples de chaînes alimentaires dominées par les organismes divers présents dans les étangs (Schroeder *et al.*, 1990). En Chine, les berges et les parcelles de coin des étangs de piscicultures sont exploitées pour la culture fourragère utilisable pour l'alimentation des poissons. C'est le cas de la Jacinthe d'eau (*Eichornia crassipes*) et de la lentille d'eau sans racine (*Wolfia arrhiza*) qui constituent les aliments favoris des alevins de carpe herbivores et aussi le meilleur complément alimentaire pour d'autres carpes (Kangmin & Peizhen (1995).

Au Malawi, les recherches en station ont montré que les restes et déchets des productions agricoles et des activités ménagères peuvent servir d'intrants dans les étangs de pisciculture (Chikafumbwa *et al.*, 1993). On relève aussi l'importance particulière du son de maïs et des plantes nuisibles provenant des stations agricoles (Noble, 1994). C'est le cas de *Pennisetum purpureum* communément appelé herbes à éléphant (Chikafumbwa, 1990), de *Chromolaena odorata* et *Tithonia diversifolia* (Pouomogne, 2005). En Côte d'Ivoire, Kimou *et al.* (2016) relèvent que l'utilisation du son de maïs et du son de riz dans des étangs extensifs conduit à des gains moyens quotidiens de 0,87 et 9,97 g/j pour *O. niloticus* et *C. gariepinus* respectivement. Au Cameroun, dans la région de Yaoundé, Brummett *et al.*, (2005) ont obtenu des résultats

satisfaisants en utilisant des sous-produits agricoles (avocat mûr) dans des compostières intra-étangs et/ou en alimentation directe des poissons. Selon ces mêmes auteurs, cette production de poisson (2,5 t / ha) reste faible comparée à celle obtenue avec la fumure animale. En effet, bien que les associations avec les végétaux soient plus nombreuses, les rendements supérieurs à 10 t/ha/an sont obtenus en associant un élevage terrestre à une production piscicole. Dans la province de Thaï Binh au Vietnam par exemple, des rendements de 7 t/ha/an ont été obtenus en polyculture de carpe en association avec un élevage ou en utilisant de la fumure animale. Ces rendements sont à comparer aux rendements de 1 à 2 t/ha/an obtenus dans la même province en association avec du riz (Mikolasek *et al.*, 2006 et 2009 b ; Yao *et al.*, 2016).

### I.3.3.2.2. Fertilisants organiques d'origine animale

Les rejets animaux sont très utilisés pour la production du poisson dans les étangs avec des résultats très probants. Par exemple, la pisciculture recycle dans certaines régions du Viet Nam, près de 77% d'effluents d'élevage majoritairement constitués de lisier de porc (Mikolasek *et al.*, 2009 b). D'après Kumar et Ayyappan (1998), la bioconversion dépend du type d'animal et de la composition des déjections (Tableau II). Ces auteurs donnent les performances suivantes (kg de déjection / kg de poisson produit) : 14/1 pour la fiente de poule, 15/1 pour la fiente de canard, 17/1 pour le lisier de porc, 40/1 pour la bouse de vache, 50/1 pour le crottin de cheval et 200/1 pour le lisier de bovin. Ce classement a déjà été présenté par Egna et Boyd (1997) et confirmé par Pouomogne (1998) au terme des travaux menés sur la pisciculture semi-intensive dans la région de l'Ouest du Cameroun.

**Tableau II** : Composition (en % de Matières Sèches) des déjections de quelques animaux domestiques (Source : Kumar et Ayyapan, 1998 ; Tuan *et al.*, 2006)

Animal \ Composition	Humidité	Matière organique	Azote	Phosphore	Potassium
Poule	11,4	/	3	2	2
Poule pondeuse	11,4	/	4,7	4,3	2,6
Chèvre	77	/	1,4	0,5	1,2
Bœuf	80 – 85	14,6	0,3 - 0,45	0,15 - 0,25	0,05 - 0,15
Vache laitière	85	11,4	0,36	0,32	0,20
Porc (fèces)	85	15	0,5 - 0,6	0,45 - 0,6	0,35 - 0,5
Porc (urine)	97	2,5	0,3 - 0,5	0,07 - 0,15	0,2 - 0,7
Canard	56,6	25,2	1	1,4	0,62

D'après Coche *et al.*, (1997), des épandages de 1500 kg de matière sèche par hectare de fiente de poule sont recommandés pour la fertilisation de fond, dix jours avant l'empoissonnement en climat chaud avec des densités d'élevage élevées. Elle permet d'avoir un substrat de fond et de stimuler le développement des bactéries et du phytoplancton. Afin de maintenir une croissance normale des poissons et la vie de l'étang en général, il est nécessaire d'appliquer une ration d'entretien dans la limite de la quantité maximale de matières sèches de 1200 kg/ha/semaine qui permet d'éviter les risques d'anoxie (Coche *et al.*, 1997). En effet, d'après Hephher et Pruginin (1990), les fumures organiques devraient être appliquées avec prudence, leur rapide décomposition et l'augmentation de la population bactérienne pourraient entraîner des carences en oxygène et la mort des poissons. Cependant, selon ces mêmes auteurs, des apports maximaux de 700-840 kg/ha/semaine de fumure animale, correspondant à des apports d'azote et de phosphore respectivement de 0,9 et 0,12 g/m<sup>2</sup>/j, sont à préconiser pour un développement optimal de *Oreochromis niloticus*. Ces résultats sont obtenus avec les apports de fumure de volaille de l'ordre de 70-140 kg/ha/j, suivant les conditions d'alcalinité de l'eau de l'étang (Pouomogne, 1994). Une fertilisation minimale par apport de 125 kg/ha/semaine de fumure de volaille, a permis en Thaïlande et aux Philippines, d'augmenter la production du Tilapia de 0,63 à 4,64 t/ha/an (Green *et al.*, 1990). Les mêmes auteurs relèvent que de plus forts rendements de production (3,5 à 4,7 t/ha/an) sont obtenus avec des apports de l'ordre de 1000 kg/ha/semaine. Cependant les rendements de Tilapia les plus élevés (>10t/ha/an) n'ont été obtenus qu'en polyculture avec les carpes principalement la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). Hopsking et Cruz (1982) rapportent que le rendement du Tilapia en polyculture avec la carpe commune et le poisson à tête de vipère *Channa striata* ou le *Clarias batrachus* obtenu aux Philippines est meilleur avec du lisier de porc ou de la fiente de poule, comparativement à la fumure de canard. Cette dernière donne elle-même de meilleurs résultats que les fertilisants minéraux, du fait de la forte stimulation des productions bactériennes et/ou de la consommation directe des fumures.

Il a été montré que les étangs fertilisés uniquement avec de la fumure animale, sont souvent carencés en azote pour un bon développement de la production primaire (Batterson *et al.*, 1989 ; Diana *et al.*, 1991). Pour pallier à cette carence, Diana *et al.* (1991) relèvent que des apports de 200 kg/ha de fiente de volailles et de 22,4 kg N/ha sous forme d'urée par semaine, ont permis d'augmenter la densité d'empoissonnement de 1 à 3 poissons/m<sup>2</sup> et de réaliser des productions de l'ordre de 6 t/ha/an de Tilapia en Thaïlande. Les travaux de Boyd (1990) relèvent qu'un apport hebdomadaire d'engrais minéral (urée), ou de deux à trois fois d'engrais organique, permettent d'augmenter la quantité d'azote. Il est préférable de pratiquer des apports

réguliers peu espacés et en petites quantités. Selon Pouomogne (1998), cet apport peut se faire à travers une compostière, ou par épandage direct mais périodique. Elle peut également se faire par chute direct des fécès d'animaux élevés en enclos construits sur pilotis surplombant l'eau ou sur les bords de l'étang.

Dans la région écologique de Yaoundé au Cameroun, très peu de données sont disponibles sur la fertilisation organique des étangs à pisciculture semi-intensive, l'efficacité d'un programme de fertilisation bien déterminé dépendant, selon Dabbadié (1996), de la capacité biogénique de l'étang, conditionnée par la température, le pH, la fertilité et l'exploitation du sol du bassin versant (Dabbadié *et al.*, 2002).

### **I.3.3.2.3. Suppléments alimentaires**

Parmi les suppléments alimentaires autres que des granulés composés, ceux issus de blé ainsi que du son de riz, du son de maïs, de la drêche des Brasseries, du sang d'animaux provenant des abattoirs et poissonneries, des déchets de restaurant et de boulangerie sont des sous-produits agricoles et d'élevage fréquemment utilisés en étang de pisciculture. Ils joueraient deux principaux rôles (Dabbadié *et al.*, 2002) :

- alimentation directe des poissons, bien que leur taux de conversion soit faible ;
- fertilisation, résultant de la dégradation des fractions non ingérées et non digérées de ces suppléments alimentaires riches en carbone. Bien que les modalités d'apports de ces derniers soient variables, Dabbadié (1996) avait déjà relevé que des apports de 1g/m<sup>2</sup>/j dans un étang fertilisé en Côte d'Ivoire sont suffisants comme complément alimentaire.

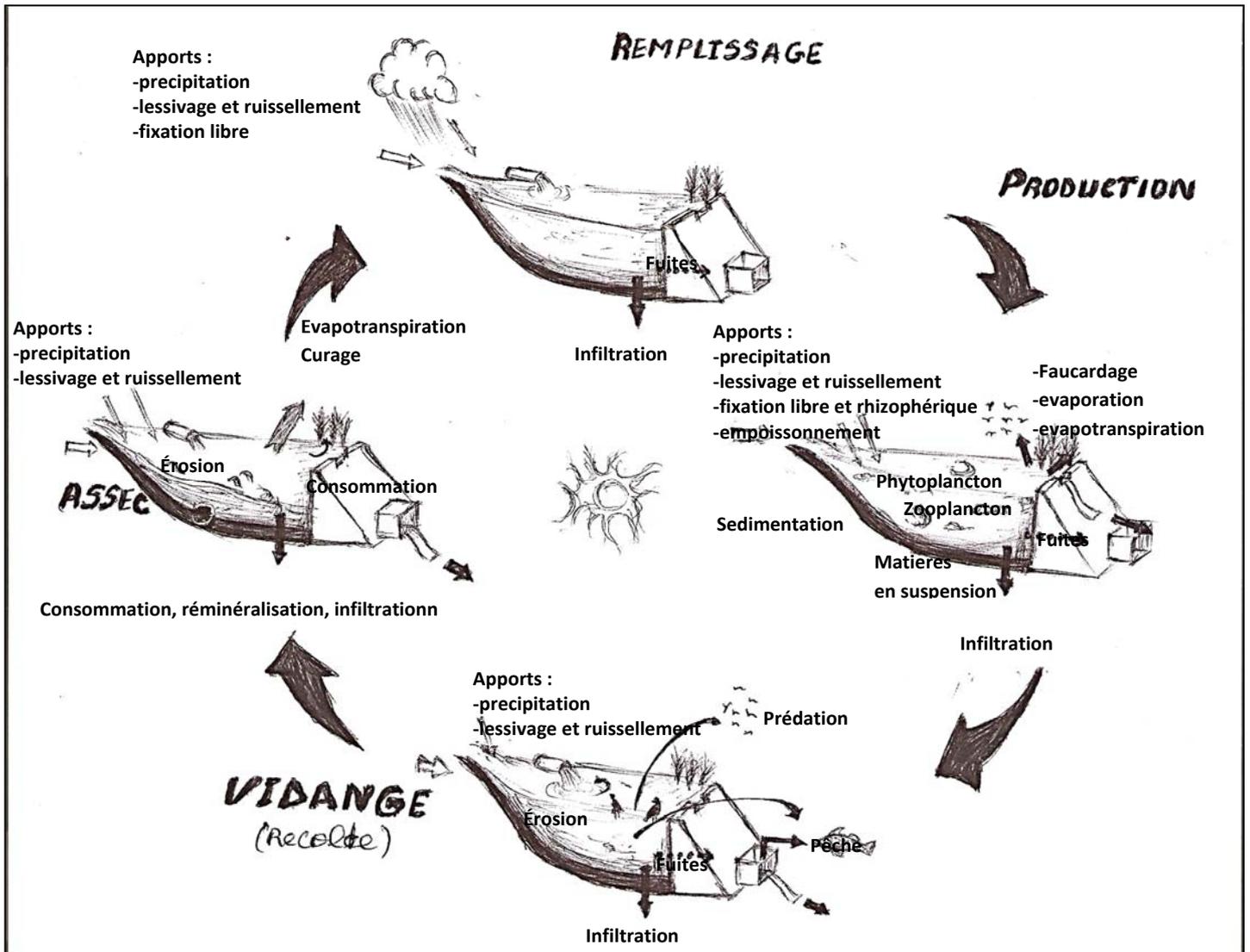
Les aliments et le fumier doivent être désinfectés avant leur introduction dans le plan d'eau, la solution de chlorure de chaux étant le désinfectant le plus utilisé (Kangmin & Peizhen, 1995). Selon ces auteurs, le fumier de certains animaux tel que le porc, peut être directement déversé dans les viviers sans fermentation préalable et augmenter ainsi la production piscicole qui peut être jusqu'à 3 fois supérieure à celle obtenue avec les engrais chimiques, sans causer de maladie chez les poissons. Cependant, certains excréments comme ceux du ver à soie, d'une fertilité supérieure, doivent fermenter avant application parce qu'ils contiennent de l'acide urique qui est toxique pour le poisson. Tout compte fait, les fumiers fermentés consomment moins d'O<sub>2</sub> dissous, augmentent directement la quantité d'azote actif et la teneur en acides aminés essentiels nécessaires au poisson (Lam *et al.*, 2007). Cependant, lorsque les étangs sont sous-fumés ou surfumés, une plus grande densité des poissons n'augmente pas le rendement journalier de l'étang. Ceci s'explique par l'insuffisance de la nourriture pour les poissons très nombreux (pour le premier cas) ou par des conditions environnementales défavorables (pour le

second cas). En effet, le taux de fumure doit correspondre à la capacité de charge en poisson du plan d'eau. Ainsi, une densité de 1500 à 10 000 poissons/ha nécessite une dose d'environ 100 kg de matière sèche de fumier /ha/jour (Milstein, 1995). Il est nécessaire donc de mettre à la disposition du paysan les aliments composés pouvant couvrir les besoins des espèces élevées formulés à partir des matières locales et accessibles à moindre coût en système semi-intensif. Toutefois il faut noter que la qualité de l'aliment utilisé représente un facteur essentiel qui garantit la croissance et la qualité de poissons élevés, la productivité, la durabilité et la rentabilité des fermes aquacoles (Koumi *et al.*, 2016, Yao *et al.*, 2016).

#### **I.4. Itinéraire technique pour la conduite d'un étang piscicole**

L'élevage de poissons en étang nécessite autant d'attention que l'élevage des animaux terrestres en cage. En effet, pour réussir l'élevage de poissons, non seulement le site de construction de l'étang doit être choisi selon des critères bien déterminés, mais aussi l'étang doit être aménagé, empoissonné, fertilisé et contrôlé régulièrement par le pisciculteur. Le cycle de vie de l'étang piscicole (Fig. 4) distingue donc quatre phases (Banas, 2001) :

- La phase de remplissage au terme de laquelle l'étang est prêt à recevoir les alevins ;
- La phase de production qui consiste à empoissonner et assurer la fertilisation continue et l'entretien du plan d'eau ;
- La phase de récolte ;
- La phase d'assec.



**Figure 4 :** Illustration du cycle de vie de l'étang (D'après Banas, 2001)

#### I.4.1-Critères de mise en place d'un étang piscicole

Le choix du site de construction d'un étang doit tenir compte des éléments biotechniques ci-après (Lacroix, 2004) :

- La disponibilité de l'eau en quantité suffisante et de bonne qualité ichtyologique. En effet l'eau de remplissage de l'étang piscicole doit contenir les sels minéraux (azote, phosphore, calcium et magnésium) ou matière organique capable de favoriser le premier maillon (producteur) de la chaîne alimentaire. Elle doit être aussi transparente et sa température maintenue entre 15 et 25°. Elle doit être permanentement disponible afin que soit possible le renouvellement de l'eau dans l'étang. Son pH doit être compris entre 6 et 8,5.

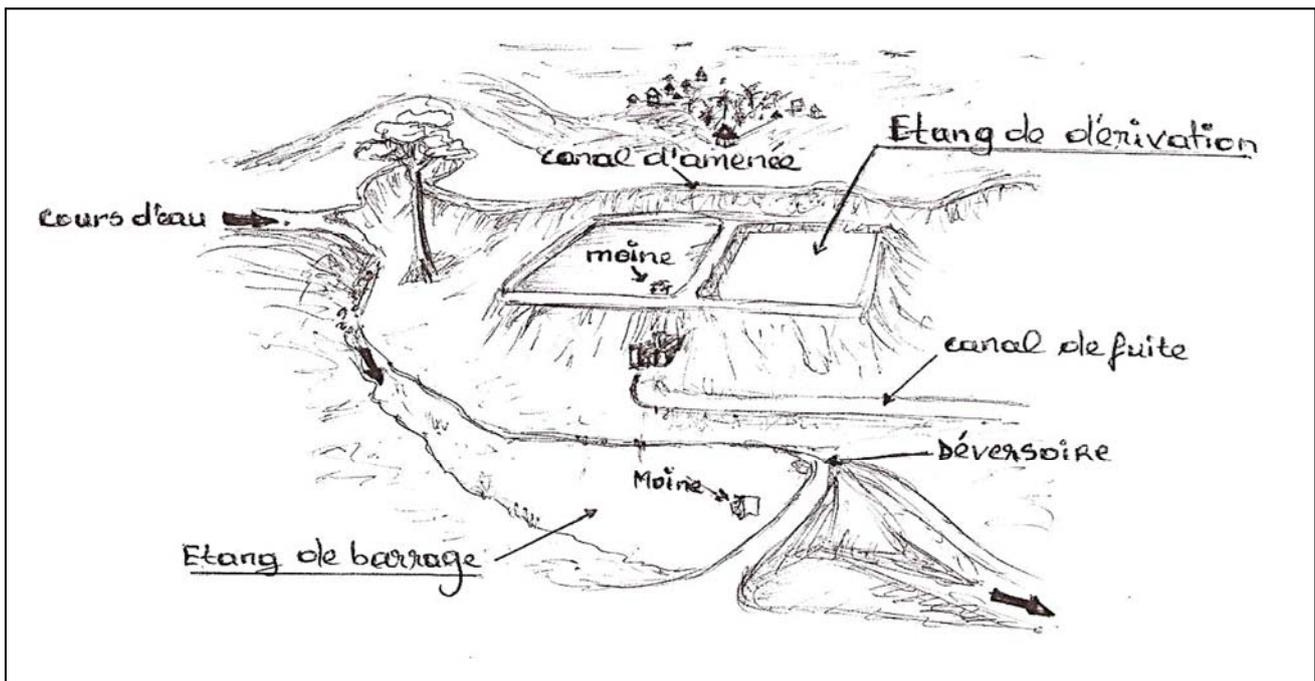
- Le sol, sa qualité affectant celle de l'eau, il est choisi en fonction de ses propriétés physico-chimiques. En effet, un sol destiné à la construction d'un étang doit avoir une texture argilosableuse pour permettre une bonne étanchéité de l'assiette de l'étang. Il doit être fertile traduisant la présence des éléments minéraux (azote, phosphore, calcium et magnésium) indispensables à la croissance de la plante avec un pH situé entre 6,5 et 8,5 ;

- La topographie du terrain doit présenter une légère pente permettant autant que possible la construction d'étangs d'une certaine superficie et vidangeable par simple écoulement d'eau ;

- L'accès doit être facile et il doit avoir la possibilité d'étendre et de construire des bâtiments annexes tels que l'écloserie, le bac de stockage, enclos d'élevage du petit bétail, bureau, et magasin.

Lorsqu'on tient compte de la topographie et du mode d'alimentation en eau, on distingue deux principaux types d'étangs (Pouomogne, 1998) à savoir (Fig. 5) :

- L'étang de barrage, construit au fond d'une vallée en barrant transversalement le lit du cours d'eau qui alimente le barrage. Ici, la quantité de l'eau qui entre dans l'étang ne peut être contrôlée ; pour cela il faut aménager un déversoir sur la digue principale afin de faire sortir l'excédent d'eau ;



**Figure 5 :** Illustration des différents types d'étangs (D'après Bard *et al.*, 1974)

- L'étang en dérivation, construit sur l'un des flancs de la vallée et alimenté en eau par dérivation d'une partie du cours d'eau principal par un barrage et un canal dit de dérivation. L'alimentation en eau et même l'évacuation de l'excédent d'eau sont mieux contrôlées.

La conception des étangs d'élevage requiert des normes. Selon Schlumberger (2002) la forme est peu importante ; cependant, les berges doivent être de forme régulière, la profondeur d'environ 1 m devant le moine. Le fond de l'étang ne doit pas atteindre la nappe phréatique, et ne doit ni être trop caillouteux, ni tourbeux. Il doit être en pente (0,5 à 1%) et le point le plus bas est proche du système de vidange. Il doit exister un peu de végétation sur les berges de l'étang car elle protège les berges contre l'érosion, sert de support au périphyton recherché par le jeune poisson et sert d'abris aux alevins ; cependant, cette végétation ne doit pas occuper plus de 20 % de la surface de l'étang. L'excès de végétation sur les berges réduit l'éclairement du plan d'eau. Aussi, l'implantation des arbres sur les berges est à proscrire, car non seulement ils les fragilisent, mais aussi enrichissent le plan d'eau en feuilles mortes qui peuvent être toxiques pour la production secondaire. L'étang doit être entouré d'une clôture pour éviter l'intrusion de divers prédateurs et éventuellement proche des habitations pour réduire le cas de vol.

#### **I.4.2. Activités déterminantes de la phase de remplissage**

Un étang une fois construit et asséché, doit être aménagé avant l'arrivée des semences de poissons. Cet aménagement consiste d'abord en la désinfection du bassin d'élevage puis à son alimentation en eau et enfin à la pratique de la fertilisation de base.

La désinfection du bassin se fait par apport de la chaux à la dose de 1 à 3t/ha (Pouomogne, 1998). Il convient de signaler que la chaux ainsi utilisée non seulement détruit dans le bassin les agents pathogènes pour le poisson et l'homme mais aussi augmente le pH, la quantité de calcium et l'alcalinité de l'eau du plan d'eau.

La mise en eau de l'étang survient 2 à 7 jours après le chaulage et doit se faire lentement au début, pour éviter la formation des sillons sur les berges et dans le fond de l'étang. De plus pendant la mise en eau de l'étang, il faut éviter l'entrée des déchets variés et des poissons qui ne conviennent pas au programme d'empoisonnement prévu pour le plan d'eau. Pour cela, il faut aménager un bassin de stockage d'eau sur le lit du cours d'eau et y installer un dispositif filtrant en gravier (dans le cas des étangs en dérivation) ; installer le canal d'amenée d'eau à contre-courant (Schlumberger, 2002) et ajuster une grille à fines mailles à l'entrée de ce canal (Pouomogne, 1998). De même, l'ajustement d'une grille à l'entrée du système d'évacuation du trop-plein doit être envisagé. Ici, ce système doit être positionné de manière à maintenir la profondeur de l'eau (< à 80 cm) au niveau du moine pour réduire, voire annuler le phénomène de stratification qui rendrait non accessibles les éléments chimiques déversés dans l'eau (le cas du phosphore). La durée de cette phase est variable de quelques jours à quelques mois et est fonction de la source d'alimentation en eau et de la superficie de l'étang. D'après Banas (1997)

le bilan hydrique de cette phase est principalement caractérisé par la dominance des flux entrants (ruissellement, précipitation...) sur les flux sortants (infiltration, évaporation...).

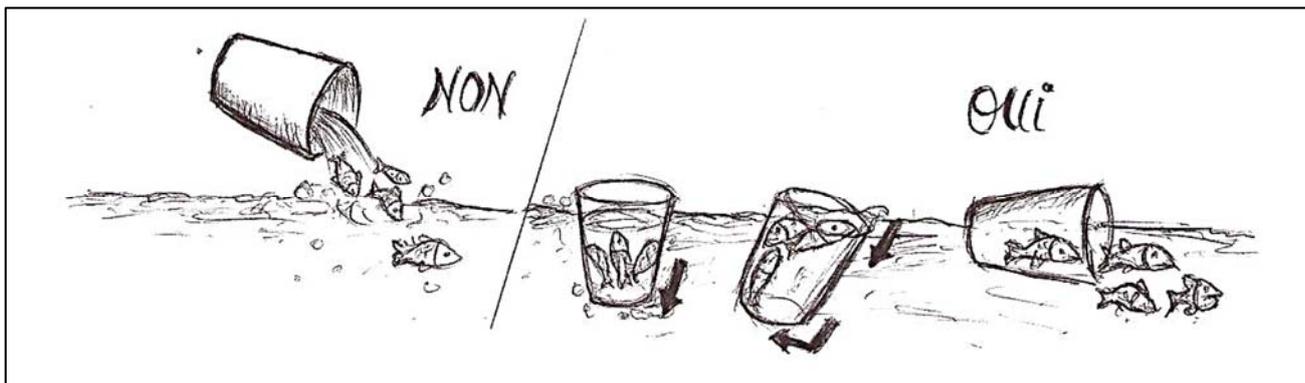
Généralement, l'eau naturelle qui entre dans l'étang ne contient pas suffisamment d'aliments pour le poisson, or l'alevin pour démarrer sa croissance, a besoin d'une eau fertile c'est-à-dire riche en éléments nutritifs. Pour y parvenir, Dabbadié (1996) suggère qu'une fois que la profondeur de l'eau avoisine 20 cm, il est important de procéder à une fertilisation initiale (ou fumage de base). Cette fertilisation est mixte et les doses de matières organiques et minérales sont fonctions de la capacité biogénique de l'étang, par conséquent varient d'un modèle théorique de fertilisation à l'autre (Lacroix, 2004). Par exemple, pour un étang d'environ 1 m de profondeur et 100 m<sup>2</sup> de surface, 10 kg de poids frais de matière organique (lisier de porc, fiente de poule) solubilisée et aspergée sur toute la surface de l'eau, associée à 1,5 kg de superphosphate disposé sur une plate-forme immergée à environ 10 cm sous l'eau, donne d'excellents résultats dans la région de l'Ouest du Cameroun (Pouomogne, 1998).

#### **I.4.3. Activités déterminantes de la phase de production**

Au cours de la phase de production dont la durée varie de six à douze mois en milieu tropical, le pisciculteur empoissonne l'étang et assure la fertilisation continue et l'entretien permanent du plan d'eau.

##### **I.4.3.1. Pratique de l'empoissonnement**

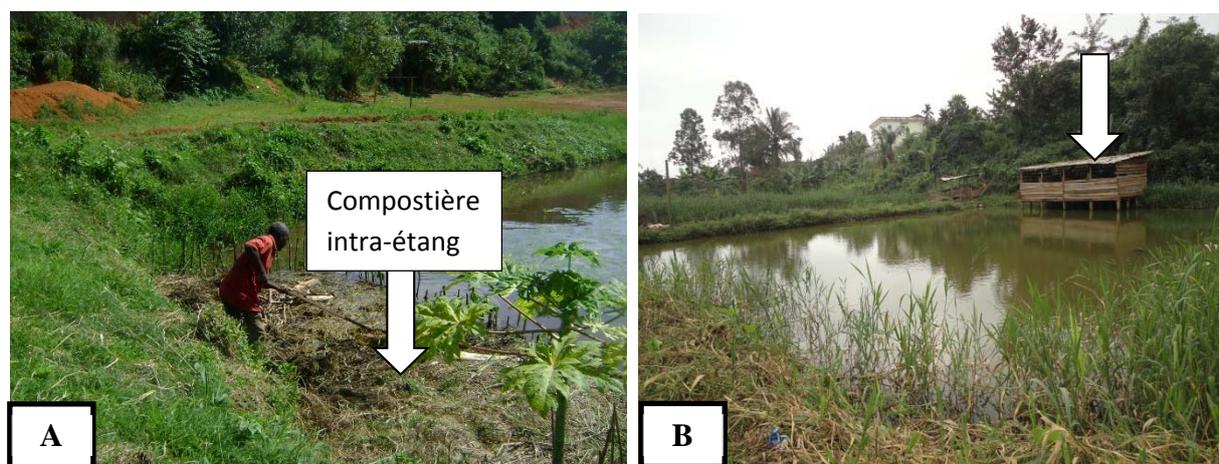
La polyculture est la pratique la plus fréquente dans les étangs d'élevage semi-intensif. Pouomogne (1998) propose d'associer les espèces de poissons de manière à exploiter toutes les niches écologiques de l'étang. Pour y parvenir, le pisciculteur choisit comme espèce principale, celle qui est plus sollicitée par la population et, en fonction du régime alimentaire de ce poisson, il détermine l'espèce ou les espèces secondaires. De même, il choisit les proportions densitaires à appliquer en tenant compte de ses objectifs d'élevage. Il est conseillé d'empoissonner l'étang 7 à 10 jours après le fumage de base (Pouomogne, 1996). Dabbadié (1996) rappelle de se rassurer que les aliments naturels (phytoplancton et zooplancton) sont présents et que l'oxygénation de l'eau de l'étang est favorable à la vie piscicole (> 4 mg/L). Pendant l'opération d'empoissonnement, le pisciculteur doit homogénéiser les températures (bac de transport et étang) et prendre le temps qu'il faut pour que les alevins passent par eux-mêmes du bac de transport à l'étang (Fig. 6).



**Figure 6 :** Illustration de la technique d'empoisonnement

### I.4.3.2. Pratique de la fertilisation continue

Pour maintenir tous les maillons de la chaîne alimentaire pendant tout le cycle d'élevage, le pisciculteur doit apporter permanentement à l'étang les fertilisants organiques et quand le besoin se fait sentir les fertilisants minéraux : c'est la fertilisation continue. Elle peut se faire soit par épandage de l'aliment directement sur l'eau, soit à travers une compostière construite hors de l'étang ou à l'intérieur de l'étang (Fig. 7), soit encore par élevage d'animaux domestiques intégré. Ces techniques de fertilisation continue sont décrites par Pouomogne (1998).



**Figure 7 :** Illustration de quelques techniques de fertilisation continue exploitées en élevage semi-intensif. A : Réalisation de compostière intra-étang ; B : Enclos de Porcs surplombant l'étang piscicole

#### I.4.3.2.1. Fertilisation à travers le compostage

Le compostage est l'action de produire les fertilisants à l'intérieur d'une enceinte aménagée à cet effet (Pouomogne, 1998). La compostière est donc cette mini-usine de fabrication de compost (fertilisant) à base des plantes, des fécès d'animaux et si possible de la chaux vive. Elle peut se construire à l'intérieur ou à l'extérieur de l'étang.

La compostière extra-étang est un bac étanche, construit non loin de l'étang, dans lequel le processus de fermentation des plantes et des fécès d'animaux se réalise, afin de produire le fertilisant naturel ou compost. Pour le faire, le pisciculteur doit étaler dans le bac en couches (épaisse d'environ 20 cm) alternées de la matière végétale découpée et du fumier d'animaux, intercalées de fines épaisseurs de chaux vive ou de cendre de bois ou de la vase de fond d'étang. Il doit ensuite saturer le bac d'eau et le sceller pour maintenir les conditions d'anaérobiose et limiter les pertes d'azote. Le compost est prêt au bout de 3 semaines si la température est d'au moins 22°C (Lacroix, 2004). Le liquide qui en résulte est de couleur sombre et le taux d'application est de 75 à 100 litres / 400 m<sup>2</sup> / j (Pouomogne, 2005). Le résidu solide qui en résulte peut-être utilisé comme colloïde dans les champs.

La compostière intra-étang (Fig. 7 A) est un clayonnage de bâtons (bambous, branches ou branchages) occupant 5 à 10% de la superficie de l'étang. La procédure de fabrication du compost est la même que dans le cas précédent. Cependant, la compostière doit être chargée périodiquement (20 kg de fumier/ 400 m<sup>2</sup> d'étang/ semaine) et le contenu doit être retourné tous les mois pour faciliter la solubilisation des éléments minéraux issus de sa fermentation. Dans ce cas, l'action effective du compost sur l'eau de l'étang se manifeste par l'apparition d'une couleur verdâtre autour du clayonnage.

Il faut noter que le compostage extra-étang est plus cher mais plus efficace que le compostage intra-étang car ce dernier consomme l'oxygène de l'étang pour la décomposition de la matière organique et maintient la transparence de l'eau plus faible au voisinage du clayonnage.

#### **I.4.3.2.2. Fertilisation par épandage**

La fertilisation par épandage consiste à mélanger le fertilisant dans de l'eau contenu dans un récipient prévu à cet effet, puis à asperger le mélange homogène sur toute la surface de l'étang. Le fertilisant peut-être le fumier d'animaux obtenu des fermes voisines ou sur le marché local. Il peut être du compost provenant de la compostière extra-étang ou encore le rouissage de manioc. Pouomogne (1994) propose au choix les taux d'application suivants :

-100 à 200 kg matières sèches / ha / j de fientes de volailles au cours de l'élevage (0,5 à 1 seau de 15 L de fiente / 400 m<sup>2</sup> d'étang / j) ;

-100 kg matières sèches / ha / j de fécès de porc (80 L de lisier / 400 m<sup>2</sup> d'étang / j) ;

-274 kg de fumier de mouton associé à 50 kg d'engrais minéraux / ha / j (11 kg de fumier et 2 kg d'engrais minéraux/ 400 m<sup>2</sup> d'étang / j) ;

-200 kg matières sèches de bouse de bœuf / ha / j (3 à 4 seaux de 10 L / 400 m<sup>2</sup> d'étang / j) jusqu'à obtention de la transparence limite de l'eau (entre 10 et 15 cm) ;

- 75 à 100 L de compost / ha / j (3 à 4 L de compost /400 m<sup>2</sup> d'étang / j);

- rouissage de 100 kg de manioc /100 m<sup>2</sup> d'étang / semaine.

#### **I.4.3.2.3. Elevage associé : intégration de l'élevage domestique à la pisciculture**

Cette technique consiste à mettre à la disposition du milieu aquatique les déjections encore fraîches des animaux ainsi que les fractions d'aliments gaspillées par ces animaux, sans recourir à une main d'œuvre. Pour cela, il faut construire l'enclos d'élevage au-dessus (construction sur pilotis) ou à proximité immédiate de l'étang (Fig. 7 B). L'apport du fertilisant se fait donc en continue sans l'intervention du pisciculteur. Dans la pratique, lorsque toutes les autres conditions d'élevage sont remplies, les proportions densitaires donnant les meilleurs rendements selon Morrisens *et al.* (1991) puis Pouomogne (1994) sont les suivantes : pour un hectare d'étang, placer sur pilotis 3500 poulets ou 2000 canards ou 100 à 150 porcs ou 300 chèvres.

Lacroix (2004) ajoute que les porcs doivent avoir environ 80 kg de poids moyen chacun au début de l'élevage ; celui-ci pouvant produire au moins 1000 kg de lisier / an (au moins 3 kg/j) lorsque sa ration alimentaire journalière est d'environ 6% de son poids vif.

#### **I.4.3.3. Suivi de l'étang piscicole pendant le cycle d'élevage**

Un contrôle de routine journalier des étangs devrait être effectué avec soin en tenant compte de l'ingestion des poissons, de la couleur de l'eau, et des potentielles épidémies pouvant survenir chez les poissons. Autrement dit, hors mis le fumage continue, le pisciculteur doit contrôler régulièrement la qualité et la quantité de l'eau de l'étang.

Le contrôle de la transparence et du comportement des poissons donne une idée sur la qualité de l'eau. Pouomogne (1998) propose que le pisciculteur mesure la profondeur de disparition d'un disque de Secchi et observe au moins pendant cinq minutes le comportement des poissons chaque matin avant le levée du soleil ; période pendant laquelle la photosynthèse est impossible. A défaut du disque de Secchi, il peut évaluer la transparence en plongeant son bras dans l'eau jusqu'à perte de vue de la paume de main (Pouomogne, 1994); la longueur de la partie mouillée du bras représentant la valeur de la transparence. Kangmin & Peizhen (1995) signalent que la transparence de l'eau de l'étang doit être maintenue entre 30 – 40 cm en saison sèche et 25 – 30 cm en saison de pluies. Sous climat tropical, la transparence doit être supérieure à 15 cm (Dabbadié, 1996 ; Pouomogne, 1998). De plus, les résidus de fourrage vert et les

poissons malades devraient être retirés de l'eau. Lorsque l'eau de l'étang est bien oxygénée ( $O_2 > 4 \text{ mg/L}$ ), le poisson vit sous l'eau et ne traîne jamais à l'interface air-eau (Schlumberger, 2002). Ainsi, le pipâge (le corps placé obliquement et la bouche positionnée à l'interface air-eau) pratiqué par le poisson en matinée est un signe d'anoxie nécessitant une intervention rapide (Pouomogne, 1998). Dans ce cas le pisciculteur doit arrêter tout programme de fertilisation, brasser l'eau et augmenter le taux de renouvellement de l'eau dans le bassin grâce aux canaux d'entrée et de sortie d'eau.

Les fuites d'eau du bassin d'élevage réduisent le volume d'eau. Cette réduction constitue un stress environnemental pouvant agir négativement sur la production piscicole (Lacroix, 2004). C'est pourquoi le pisciculteur doit contrôler et stopper les fuites d'eau (les plus visibles étant au niveau des berges), contrôler régulièrement les systèmes d'alimentation, de trop plein et de vidange, dans le but de maîtriser le taux de renouvellement d'eau et de maintenir constant le volume d'eau dans l'étang.

Pour des besoins de photosynthèse efficace, une fois que les valeurs du pH et de l'alcalinité sont acceptables (autour de 7 et plus de 60 mg/L respectivement) et les éléments minéraux disponibles, le pisciculteur doit veiller à ce que les pourtours de l'étang soient dégagés pour permettre aux rayons solaires de réchauffer l'eau de l'étang pendant le temps le plus long possible (Pouomogne, 1998). Il peut arriver que le phosphore soit excessif et provoque l'envahissement de la surface de l'eau par les cyanobactéries de manière à faire écran à la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Dans ce cas, il faut augmenter le taux de renouvellement de l'eau dans le bassin et balayer la surface de l'eau à l'aide d'un tissu et d'épuisettes jusqu'à l'élimination complète de ces algues qui constituent d'ailleurs une impasse trophique pour la plupart d'animaux phytoplanctonophages. Le plan d'eau est parfois envahi par les têtards ou par les macrophytes; il est donc conseillé pour le premier cas de les enlever à l'aide des épuisettes et pour le second cas de pratiquer le faucardage. Le pisciculteur doit aussi contrôler l'état de la clôture construite autour de l'étang.

Le résultat de la fertilisation continue dépend de la capacité biogénique de l'étang. Ainsi, en cas de sur-fertilisation (transparence de l'eau au disque de Secchi  $< 15 \text{ cm}$  et pipage matinal), le pisciculteur arrête toute fertilisation et entreprend le renouvellement de l'eau dans le bassin. Dans le cas de la sous-fertilisation (transparence de l'eau au disque de Secchi  $> 30 \text{ cm}$  et Matières En Suspension rares), il faut tout d'abord pratiquer la fertilisation minérale pour relancer la photosynthèse et revoir le programme de fertilisation organique tout en maintenant les valeurs piscicoles du pH et de l'alcalinité (Pouomogne, 1998 ; Schlumberger, 2002).

Au regard des différents comportements que peut afficher le plan d'eau durant l'élevage, une attention particulière doit lui être accordée en début de cycle d'élevage, le temps pour les alevins de s'adapter au nouveau milieu de vie afin de résister aux multiples stress environnementaux (Lacroix, 2004). En effet, lorsqu'un étang piscicole est suivi avec minutie, les poissons croissent rapidement ; les tilapias pouvant passer de 10 g à 125 g de poids et les silures de 3 g à 160 g de poids en trois mois, ceci dans le cas de polyculture en système semi-intensif (Pouomogne, 2007).

#### **I.4.4. Phase de vidange : Récolte**

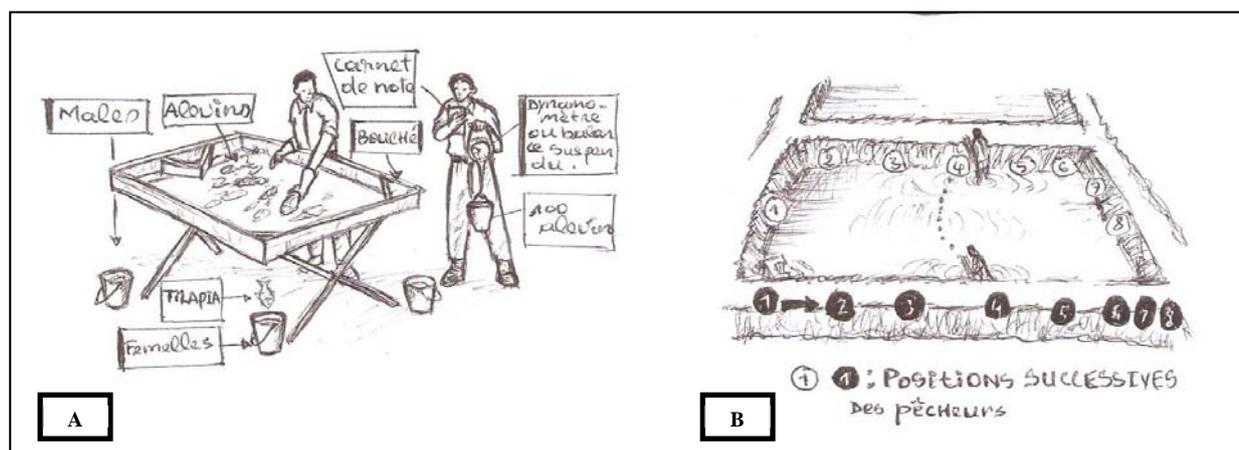
La période de récolte tient compte du poids des poissons à la mise en charge, de l'environnement bio-climatologique, des conditions d'élevage et de la taille du poisson compétitive sur le marché (Dabbadié, 1996 ; Pouomogne, 1998 ; Schlumberger, 2002 ; Lacroix, 2004). Ainsi, les expériences menées au Cameroun relèvent que les tilapias d'au moins 10 g élevés en conditions semi-intensives et bien suivis présentent au bout de 7 mois, un taux de survie de 85% avec un poids moyen de 250 g ; de même, les silures de 3 g donnent un poids moyen de 600 g avec un taux de survie de 60% (Pouomogne, 1998). Autrement dit, un étang de 100 m<sup>2</sup> ensemencé et entretenu produit environ 60 kg de poissons. Ce même auteur relève qu'en élevage semi-intensif, la croissance du tilapia est plus élevée entre février et août (valeurs de la température et des MES favorables pour la plupart de temps à la vie piscicole); par conséquent, la récolte doit se faire en dehors de cette période.

Au terme de l'élevage, une vidange peut être pratiquée pour récolter les poissons. Pour réussir la récolte, le pisciculteur doit disposer du matériel adéquat et d'un personnel maîtrisant les techniques de capture de poissons. Le matériel dont le paysan peut facilement se procurer est constitué des épuisettes, des récipients spécifiques, des paniers, d'une table de tri, et si possible d'une senne de pêche. La procédure à suivre pour récolter les poissons consiste tout d'abord à baisser le niveau de l'eau de l'étang. Cette opération commence la veille et se fait de façon lente pour éviter de stresser les poissons. Aussi, il faut protéger l'ouverture du tuyau d'évacuation d'eau à l'aide d'une épuisette ou d'un grillage de mailles plus petites que la taille des poissons pour prévenir la fuite éventuelle des poissons. Pouomogne (1998) ajoute que la vitesse d'évacuation de l'eau doit être calibrée de manière à pouvoir commencer la pêche très tôt le matin (vers 5 h 30 min), alors que plus de deux tiers de l'assiette est drainée et les poissons sont accumulés dans la partie la plus basse de l'étang (vers le moine). Les poissons collectés à l'aide d'épuisettes ou de paniers sont ensuite mis dans les lessiveuses ou des seaux et acheminés vers la table de tri (Fig. 8 A) conçue à cet effet et convenablement disposée sur la

digue. Pendant que l'excédent d'eau vaseuse et le mucus s'échappent par les perforations prévues sur la table, les poissons y sont triés par espèce et/ou par taille en fonction de la clientèle, puis pesés avant d'être remis dans les bassins de stockage contenant de l'eau claire constamment renouvelée. L'ensemble de ces opérations doit être réalisé avant qu'il ne fasse chaud (avant 11 h dans la journée).

Pour réduire les risques de mortalité des poissons par colmatage des branchies au niveau du moine où ils sont regroupés, il est nécessaire d'alterner la vidange avec une alimentation en eau couplée au blocage du tuyau de vidange. Il convient de signaler qu'il peut arriver que l'on soit obligé de procéder vraisemblablement au curage pour débusquer et capturer tous les poissons enfouis dans la vase (Pouomogne, 1998).

Par ailleurs, il est possible pour le pisciculteur d'entreprendre une récolte partielle (Fig. 8 B) soit pour satisfaire des clients soit pour avoir une idée de la croissance des poissons. Pour cela, il peut se servir d'une senne de dimension convenable (1,5 fois plus grande que la profondeur et la largeur de l'étang). A défaut, il faut procéder de la même façon qu'à la récolte totale. Cependant, une fois la quantité de poissons désirée récoltée, le niveau de l'eau dans l'étang doit être ramené à la normale et si l'étang était fertilisé, il faut intensifier la fertilisation afin de rendre disponible la nourriture pour les poissons qui restent en étang. S'il s'agit des mensurations faites pour des observations scientifiques alors, les poissons récoltés et mesurés doivent à la fin de l'opération être remis dans l'étang.



**Figure 8:** Schéma illustrant la récolte des poissons : Matériel de récolte et de tri (A) et illustration de la récolte partielle du poisson (B) (D'après Lacroix, 2004)

#### I.4.5. Phase de l'assec

Cette phase consiste à assécher l'assiette du plan d'eau. L'assec est une phase nécessaire pour d'éventuelles actions d'entretien comme la réparation des digues, le curage, la restauration

du fossé principal ou l'entretien des berges. D'après Schlumberger (2002), l'assec jouerait également d'autres rôles importants à savoir :

- l'aération de la vase et la minéralisation de la matière organique ;
- la limitation de la prolifération d'organismes indésirables tels que les parasites ou les virus. Cette phase est souvent brève et incomplète en milieu tropical humide et parfois supprimée. Pour éviter l'exportation des nutriments stockés dans les boues et favoriser leur réutilisation dans le cycle d'élevage suivant, l'étang est remis en eau juste après la récolte (Tamassia, 2011).

## **I.5. Caractérisation des étangs de pisciculture**

En étang, la production piscicole tient compte des facteurs physico-chimiques et biologiques. Parmi ces facteurs, certains sont extérieurs et d'autres intérieurs à l'étang. Les facteurs externes sont liés non seulement au climat, responsable de la température et de l'éclairement, mais aussi au sol du bassin versant à savoir le type de sol, la couverture végétale et l'activité agricole menée sur le bassin versant (N'dri *et al.*, 2016). Les facteurs internes à l'étang sont variables d'un étang à l'autre et cette variabilité est fonction de l'intervention de l'homme ; on peut citer la qualité de l'eau, la qualité du sédiment, le type d'organismes animaux et végétaux présents dans l'eau. Ainsi, dans l'optique de maximiser la production piscicole, les hommes accélèrent l'eutrophisation en déversant les fertilisants organiques dans les plans d'eau et en assurant leur entretien. Ces différentes pratiques affectent l'écosystème tout entier et augmentent les rendements piscicoles (Milstein, 1995).

### **I.5.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau**

Les variables physico-chimiques qui apportent des indications pertinentes sur l'état d'un étang piscicole sont : La température, les Matières En Suspension (MES), la couleur, la turbidité, la transparence, la teneur en oxygène dissous (O<sub>2</sub>), le pH, la dureté totale, l'alcalinité, la conductivité électrique, les formes azotées et phosphatées (Schumberger, 2002).

#### **I.5.1.1. Caractéristiques physiques de l'eau**

Les MES représentent l'ensemble des matières organiques et minérales en suspension dans l'eau. Elles proviennent soit de la décomposition des organismes morts soit des détritiques issus des fertilisants organiques apportés au plan d'eau par le pisciculteur, ou encore du lessivage du bassin versant après de forte pluie. Les MES produisent une pollution mécanique et augmentent la turbidité de l'eau (Leynaud et Verrel, 1980), sa conductivité électrique et sa couleur (Hart, 1988 ; Schlumberger, 2002). De même les teneurs élevées en MES (> 30 mg/L)

dans l'eau perturbent la photosynthèse par diminution de la transparence induisant la baisse de la teneur en oxygène dissous et peut entraîner la mort du zooplancton et des alevins par asphyxie après colmatage de leurs branchies ou appendices (Zébazé Togouet, 2000). Elles constituent souvent un stock d'aliments pour le zooplancton et protègent ce dernier contre les prédateurs (Pourriot, 1980 ; Leynaud & Verrel, 1980). La pauvreté de l'eau de l'étang en éléments nutritifs est indiquée par la faible turbidité, et la transparence de l'eau élevée (>30 cm) (Oyelese *et al.*, 2014).

Dans un étang, la température de l'eau dépend de la température ambiante, de la transparence de l'eau et du pourcentage de couverture des berges par les macrophytes. Billard et Marie (1980) affirment que la croissance des poissons d'étang est maximale entre 25 et 35°C et les activités biologiques doublent pour chaque élévation de 10°C. C'est le cas pour les tilapias et les silures par exemple qui préfèrent la gamme de température de 24 à 33°C (Coche *et al.*, 1997 ; Pouomogne, 1998). Les valeurs supérieures à 35°C sont létales pour de nombreuses espèces (Schlumberger, 2002). La température influence la vitesse des réactions chimiques et biochimiques, intervient dans la solubilité des gaz et des sels et par conséquent influence la conductivité électrique et le pH (Hutchinson, 1967 ; Schlumberger et Bouretz, 2018). Ainsi, toute intervention sur l'étang (fumure, alimentation, pêche) doit prendre en compte la température de l'eau. A une température faible (< 10°C), la fertilisation a très peu d'effet (Schlumberger, 2002). A partir de 15°C, les apports d'engrais organiques ont un effet rapide. Cependant, au-delà de 28°C, il est préférable d'interrompre tout apport d'engrais organique et de surveiller les teneurs en oxygène dissous.

#### **I .5.1.2. Caractéristiques chimiques de l'eau**

Le potentiel hydrogène (pH) indique la basicité ou l'acidité d'une eau. Selon Nola *et al.* (1999) puis Zébazé Togouet (2000), le pH dépend de la nature des terrains traversés mais reste dans la région de Yaoundé généralement proche de la neutralité dans les eaux douces. Dans les étangs piscicoles en particulier, il dépend de la nature du substrat géologique local et varie selon la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub>. En effet, le pH fluctue au cours du nyctémère (élévation du pH pendant l'activité photosynthétique et abaissement de la valeur durant la nuit) et se stabilise par création d'un tampon calcique dans l'étang suite à l'apport de la chaux (CaO ou CaCO<sub>3</sub>) (Angelier, 2000 ; Schlumberger, 2002) selon les équations ci-contre :



Ces équations montrent que le pH, la dureté calcique et l'alcalinité sont positivement corrélées. Une eau est bonne pour la pisciculture lorsque le pH est compris entre 6,5 et 9, la dureté calcique supérieure à 30 mg CaCO<sub>3</sub>/L pour une dureté totale comprise entre 100 et 300 mg CaCO<sub>3</sub>/L et l'alcalinité totale supérieure ou égale à 60 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Pouomogne, 1998 ; Schlumberger, 2002). Selon Billard et Marie (1980) l'alcalinité totale et la dureté totale exprimées en équivalent carbonate de calcium sont les plus favorables à la pisciculture lorsqu'elles sont voisines de 150 mg/L. En effet les teneurs élevées de dureté entretiennent le pH alcalin, favorable à la minéralisation des fertilisants organiques. De même, les ions calcium et magnésium soutiennent l'activité musculaire, entrent dans le processus de l'ossification chez le poisson et protègent ce dernier contre les maladies (Lacroix, 2004). La croissance du poisson et la production piscicole sont mauvaises pour des valeurs de pH comprises entre 4 et 6,5 et entre 9 et 10, les valeurs de 4 et 11 sont létales (Dabbadié, 1996). Au-delà de 9, le pH rend le milieu toxique pour divers organismes, notamment les consommateurs d'algues, et affecte la solubilité des phosphates car ces derniers tendent à précipiter en milieu très basique (Biedermann et Yon, 2005).

La conductivité électrique est une variable chimique qui donne une idée globale sur les ions présents dans le milieu. Elle indique le degré de minéralisation des particules ionisables et renseigne sur le degré d'aérobiose ou d'anaérobiose lorsque les matières ionisables sont disponibles (Verneaux, 1973 ; Leynaud et Verrel, 1980). C'est un paramètre permettant de détecter certaines pollutions et de contrôler l'auto-épuration de l'eau de l'étang. Plus la conductivité est élevée, plus le pH est bas et plus le milieu s'appauvrit en organismes vivants (Mutune *et al.*, 2003). Les teneurs favorables à la vie piscicole sont inférieures à 700 µS/cm (Schlumberger, 2002). L'oxydabilité indique le taux de matières organiques en attente de la minéralisation dans l'eau et par conséquent, permet d'apprécier le degré de pollution organique des eaux. Elle renseigne le pisciculteur sur la disponibilité des fertilisants organiques dans son étang (Lacroix, 2004). La variation de la teneur en oxygène du milieu est inversement proportionnelle à celle en matières organiques biodégradables (Zébazé Togouet, 2000).

L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) dans l'eau provient de la dissolution de l'oxygène de l'air dans l'eau et de la photosynthèse réalisée par les végétaux présents dans ce milieu. La quantité d'O<sub>2</sub> dissous dans l'eau dépend de la pression atmosphérique, de la température, de l'altitude et de la salinité (Hutchinson, 1967 ; Dussart, 1992). L'oxygène est d'une importance capitale dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. En effet, les bactéries aérobies s'en servent pour participer activement au processus de minéralisation dans l'étang. En absence de cet élément, ce sont les bactéries anaérobies qui interviennent en utilisant l'oxygène combiné aux nitrates

d'abord et ensuite aux nitrites, sulfates et phosphates (Leynaud & Verrel, 1980 ; Zébazé Togouet, 2000). Schlumberger (2002) précise qu'en étang piscicole, l'oxydation de la matière organique consomme l'oxygène et produit les éléments minéraux nécessaires à la photosynthèse.

Zébazé Togouet (2008) puis Nziéleu Tchagnouo (2016) ajoutent que l'oxygène est l'élément sans lequel la respiration chez les êtres vivants n'est pas possible quel que soit l'écosystème considéré. Le minimum de besoin en oxygène pour les poissons d'étang est de 1 mg/L, la teneur la plus favorable à la vie piscicole étant au-delà de 4 mg/L. Quelques espèces seulement (à l'exemple de celles appartenant au genre Clarias) peuvent survivre quand la teneur de l'oxygène dans l'étang est inférieure à 1 mg/L (Billard et Marie, 1980 ; Mikolasek et Lazard, 1999). En cas de sous-oxygénation de l'eau de l'étang (1,5 mg/L en profondeur) il est conseillé au pisciculteur de brasser l'eau pour capter l'oxygène de l'air et éviter le relargage du phosphore qui entraîne le développement massif des cyanobactéries indésirables pour la plupart de poissons. La fertilisation organique provoque d'autre part un apport de fécès qui stimule l'ensemble de l'écosystème et en augmente la turbidité qui, couplée à l'augmentation de la production du plancton, contribue à accentuer la dépression de la teneur de l'eau en oxygène vers la fin de la période nocturne (Boyd, 1986) ; cette situation est parfois létale pour le poisson.

Les composés azotés proviennent du lessivage des produits de l'oxydation de la matière organique du bassin versant, de la synthèse à partir de l'azote atmosphérique et des engrais organiques et minéraux apportés au plan d'eau par le pisciculteur (Angelier, 2000 ; Lacroix, 2004). En fonction du niveau d'oxygénation de l'eau de l'étang, et du type de fertilisant apporté au plan d'eau, l'azote se présente sous trois formes dans l'eau. La forme réduite ou azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) qui se transforme en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en phase aérobie. En conditions anaérobies, les nitrates présents dans le milieu sont réduits (dénitrification) en nitrites voire même en azote ammoniacal ou azote moléculaire. L'assimilation de toute forme d'azote par l'édifice trophique de l'étang est favorable à la production piscicole. Leynaud et Verrel (1980) indiquent trois principales voies d'incorporation de l'azote :

- la consommation de l'azote organique ( $\text{N}_2$ ) par les décomposeurs (bactéries et champignons) qui rejettent principalement l'azote ammoniacal (Carlet, 1985) ;

- l'oxydation de l'azote ammoniacal par les bactéries sous forme de nitrite qui peut être directement absorbé par certains macrophytes et les cyanobactéries ;

- l'oxydation du nitrite en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) utilisé par les producteurs pour la synthèse des acides aminés assimilables par tous les organismes consommateurs dont le zooplancton, les

poissons planctonophages (à l'exemple de *Oreochromis niloticus*) et les alevins de poissons (Anonyme, 1985 ; Billard et Marie, 1980).

L'azote est un constituant essentiel des organismes vivants car il entre dans la composition des acides aminés et des protéines. Cependant, à forte concentration, le nitrite et l'azote ammoniacal sont toxiques pour les consommateurs dont le poisson (Leynaud & Verrel, 1980). Schlumberger (2002) signale que le seuil de toxicité de  $\text{NH}_4^+$  varie avec le pH et sera d'autant plus élevé que le pH sera fort. Les teneurs acceptables sont inférieures à 1 mg/L pour un pH inférieur ou égale à 8. Les valeurs inférieures à 0,2 mg/L sont recommandées dans les étangs piscicoles pour le nitrite, la concentration optimale de toutes les formes d'azote devant être comprise entre 0,8 et 4 mg d'azote/L (Billard et Marie, 1980).

Le phosphore provient du lessivage du bassin versant ou encore des amendements organiques et minéraux du plan d'eau. Il se trouve dans l'eau sous forme inorganique ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) et organique dissoute ou particulaire ; cette dernière forme étant généralement piégée dans les sédiments et remise dans la colonne d'eau à la demande ou par brassage de l'eau. Le phosphore joue un rôle essentiel dans la constitution des êtres vivants car il rentre dans la constitution des acides nucléiques. C'est l'élément de base de la photosynthèse et peut-être il est limitant pour les organismes aquatiques Anonyme (1985). Il devient limitant pour la croissance algale lorsque le rapport massique N/P est supérieur à 7 (Reynolds, 1984). De toutes les formes existantes, seule la forme inorganique du phosphore est utilisée par les végétaux pour la photosynthèse. L'enrichissement de l'eau en phosphore conduit à l'augmentation de la productivité de l'étang et à l'accélération du processus d'eutrophisation. Ainsi, pour assurer une bonne productivité piscicole sans détruire l'étang, Schlumberger (2002) propose des teneurs en ions phosphates comprises entre 0,2 et 0,5 mg/L dans la colonne d'eau.

Les processus de précipitation et de dissolution du phosphore liés au pH sont déterminants lors de l'utilisation des fertilisants en étang piscicole et notamment dans les conditions acides (Daumer *et al.*, 2007). La disponibilité de l'azote et du phosphore dans la colonne d'eau pour des processus photosynthétiques est fonction de l'alcalinité totale de l'eau. Au-dessous d'un certain seuil ( $<20 \text{ mg/L CaCO}_3$ ), la fixation de l'azote par les microorganismes du sédiment, les fortes concentrations en  $\text{NH}_3$  ainsi que la précipitation du phosphore sont favorisées au détriment de la photosynthèse (Golterman, 1984 ; Labroue *et al.*, 1995). Pouomogne (1998) a relevé qu'une alcalinité comprise entre 47 et 100 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  avec des concentrations adéquates de N et P assimilables améliorerait la productivité piscicole. Le produit utilisé pour améliorer l'alcalinité de l'eau est préférentiellement de la chaux agricole, et à défaut, de la

chaux vive. Cependant quelques essais de substitution de la chaux par la cendre de bois ont été réalisés (Jamu et Msiska, 1996). D'après Risse et Gaskin (2002), la capacité de la cendre à remplacer la chaux est fonction de sa concentration en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Des amendements calcaires par apport de 2,5 t/ha/an de  $\text{CaCO}_3$  (Boyd, 1990) ou de cendre de bois (Jamu et Msiska, 1996) permettent soit de relever, soit de maintenir le taux d'alcalinité aux seuils tolérables dans les étangs piscicoles.

En étang de pisciculture, l'apport des matières organiques est généralement volontaire et contrôlé avec minutie dans l'optique d'accroître l'eutrophisation sans dépasser le pouvoir tampon et le pouvoir de dilution de l'étang et sans occasionner la mortalité brusque et élevée des poissons (allosaprobisation). Selon Angeli (1980) un étang est dit eutrophe quand il y a une forte productivité primaire et une faible minéralisation, l'ensemble de la biomasse produite dans l'année n'étant pas totalement minéralisée par les bactéries ; il en résulte une accumulation de vase organique. Au contraire, un étang oligotrophe présente une faible productivité primaire, une forte minéralisation, la quantité totale de matière vivante produite étant minéralisée et reprise dans le cycle, d'où l'absence de formation de vase organique.

Il faut noter qu'un apport excessif en composés organiques dégradables entraîne un déséquilibre entre la productivité et la minéralisation ainsi que divers dommages résultant de la dégradation de ces composés. Un étang en vieillissement peut rajeunir s'il y a arrêt complet d'apports extérieurs en effluents. Dans les étangs, la productivité est maximale dans tous les groupes d'êtres vivants au stade eutrophe. Au-delà de ce stade, même les poissons meurent par asphyxie et la production piscicole diminue.

Le tableau III récapitule les valeurs des paramètres favorables à la vie piscicole.

**Tableau III** : Synthèse des normes de qualité des eaux piscicoles

Paramètres	Valeurs favorables à la croissance du poisson	Valeur létale	sources
MES	< 30 mg/L	>30 mg/L	Pouomogne (1998) Schlumberger (2002)
Transparence	15 – 30 cm	< 10 cm	Pouomogne (1998)
Température	15 -28°C	>35°C	Schlumberger (2002)
pH	6,5 - 9	4 et 11	Billard et Marie (1980) Dabbadié (1996) Pouomogne (1998) Schlumberger (2002)
Oxygène dissous	>4mg/L	< 1 mg/L	Billard et Marie (1980) Mikolasek et Lazard (1999)
Dureté calcique	>30 mg CaCO <sub>3</sub> /L	/	Pouomogne (1998)
Alcalinité totale	47–100 mg CaCO <sub>3</sub> /L	/	Pouomogne (1998)
Azote dissous	0,8 – 4 mg N <sub>2</sub> /L	/	Billard et Marie (1980) Schlumberger (2002)
Phosphore dissous	0,2 – 0,5 mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	/	Schlumberger (2002)

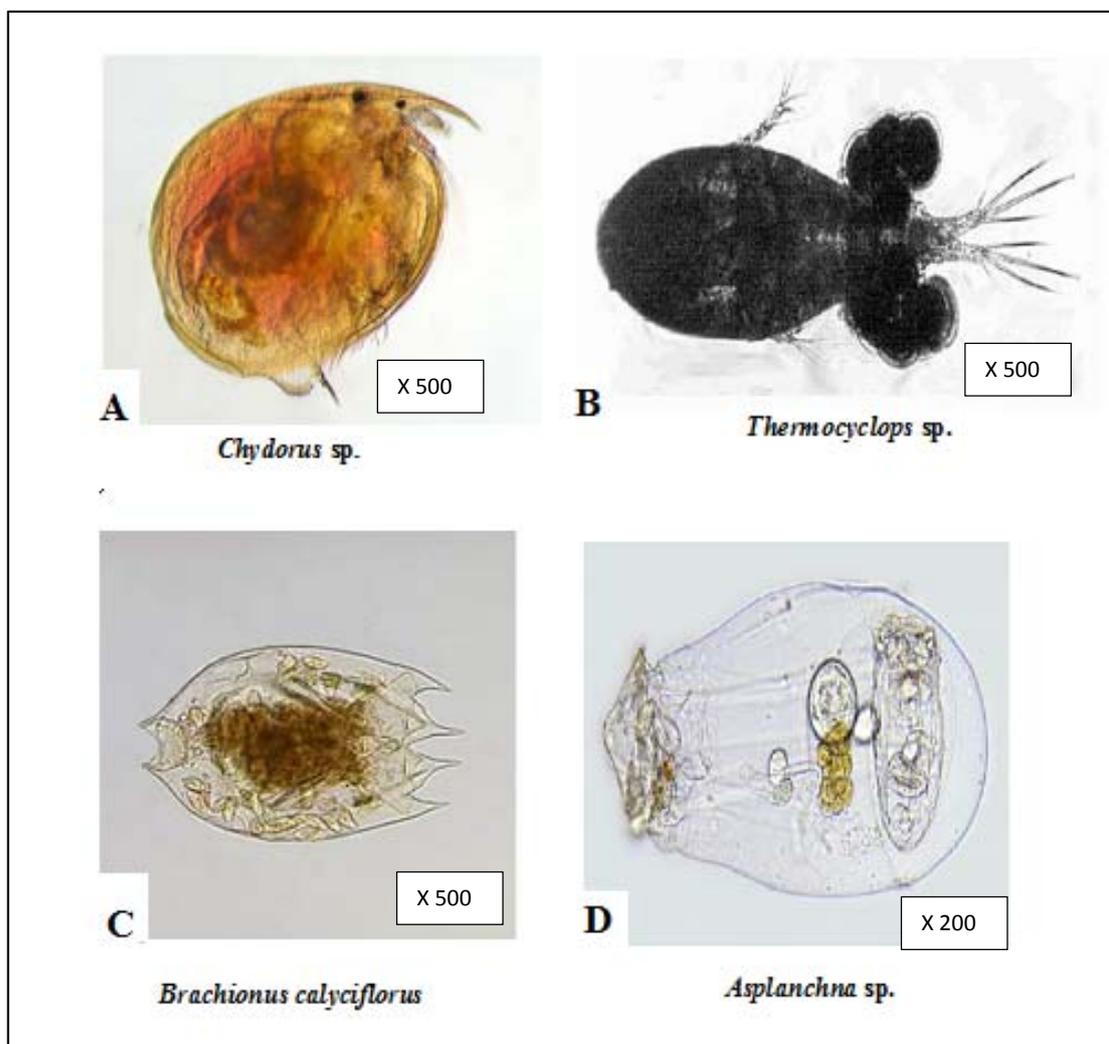
L'analyse de ces éléments doit nécessairement être complétée par l'analyse des composantes biologiques, l'avantage étant de déceler et d'évaluer de façon plus précise l'ampleur de l'effet de la fertilisation couplée à l'entretien sur l'état de santé de l'étang et donc sur la productivité piscicole.

### **I.5.2. Caractéristiques biologiques des étangs piscicoles**

La mise en place de la biocénose dans un étang au début du cycle d'élevage suit un ordre bien déterminé. Tout d'abord, les organismes décomposeurs tels que les bactéries et les champignons colonisent le milieu, prolifèrent et dégradent la matière organique morte présente sur le fond (Schlumberger, 2002). Ils provoquent ainsi l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub>, la diminution de la teneur de l'O<sub>2</sub> et la libération des sels minéraux. Par la suite vient le phytoplancton qui utilise le CO<sub>2</sub>, les sels minéraux du milieu ainsi que la lumière pour se développer en produisant l'O<sub>2</sub> qui facilite la dégradation des matières mortes par les bactéries et c'est ainsi qu'un équilibre s'instaure entre la production du CO<sub>2</sub> par les décomposeurs et sa consommation par les algues (Pouomogne, 1998). Le zooplancton colonise le milieu à son tour et prolifère. De tous les taxa de zooplancton connu en Afrique, les Rotifères, les Cladocères et les Copépodes sont majoritairement représentés dans la colonne d'eau de l'étang. Les

Ostracodes sont pour la plupart benthiques et les Ciliés colonisent faiblement les étangs piscicoles lorsque ces derniers sont assez bien entretenus (Giani et Laville, 1995).

A ce stade de colonisation, le broutage pratiqué par le zooplancton va limiter la prolifération du phytoplancton et l'équilibre va s'instaurer entre les producteurs et les consommateurs (Schlumberger, 2002). Ainsi, le taux d'oxygène et le pH se stabilisent et c'est en ce moment que le pisciculteur peut introduire les alevins de poissons qui trouvent dans l'étang assez d'aliments naturels (phytoplancton et zooplancton) capables d'assurer leur alimentation (Dabbadié, 1996 ; Lacroix, 2004). Le poisson constitue ainsi pour le pisciculteur le dernier maillon des chaînes trophiques pouvant se mettre en place dans l'étang. En cas d'éclairage insuffisant pour une longue durée, le zooplancton, de par sa plasticité alimentaire adopte un comportement organotrophe, ce qui lui permet de se développer et de rendre disponible la protéine animale pour le poisson (Billard et Marie, 1980 ; Dabbadié, 1996).



**Figure 9** : Quelques spécimens de zooplancton fréquemment rencontrés dans les étangs piscicoles (A = le Cladocère *Chydorus* sp.; B = le Copépode *Thermocyclops* sp., C = le Rotifère *Brachionus calyciflorus* et D = le Rotifère *Asplanchna* sp. ) (Source : Glime, 2017).

## **I.5.2.1. Biologie et écologie du zooplancton des étangs de pisciculture**

### **I.5.2.1.1. Biologie des communautés zooplanctoniques des étangs piscicoles**

#### **I.5.2.1.1.1. Rotifères**

Les rotifères sont caractérisés par leur extrémité apicale encore appelée corona qui porte des cils utilisés pour la locomotion et la capture des proies ; leur système digestif est composé d'un pharynx musculueux contenant le mastax, suivi d'un œsophage, un estomac, un intestin et un cloaque (Pourriot & Francez, 1986). Ils sont formés d'un nombre réduit mais constant de cellules et ont une respiration tégumentaire. Les rotifères sont de très petite taille (0,1- 1 mm) et ont un tégument perméable ; d'où leur sensibilité aux variations physico-chimiques de l'environnement (Zébazé Togouet, 2000 ; Zébazé Togouet *et al.*, 2006). Ils sont couverts d'une cuticule protéique non chitineuse, mince et souple, mais qui peut s'épanouir jusqu'à former une véritable carapace ou lorica avec parfois des ornements spécifiques. Les rotifères sont ubiquistes et colonisent les eaux douces, les eaux saumâtres, les interstices et les mousses. Principalement phytophages et algivores, ils peuvent être bactériophages, détritivores ou macrophages carnivores (cas des Asplanchnidae et des Dicranophoridae) ou même à alimentation mixte (Pourriot, 1977 ; Koste, 1978 ; Bernadi *et al.*, 1987). Les espèces planctoniques sont cosmopolites contrairement aux espèces périphtiques et benthiques. Leur répartition est fonction de la température et de la quantité de nourriture disponible ; c'est pourquoi leur distribution géographique est limitée (De Ridder, 1981). Le genre *Brachionus* par exemple s'épanouit préférentiellement dans les eaux alcalines et eutrophes (Zébazé Togouet, 2008 ; Zébazé Togouet *et al.*, 2015).

La reproduction chez les rotifères s'effectue essentiellement par parthénogenèse améiotique. Cependant elle peut être sexuée dans les pièces d'eau à conditions environnementales instables (étangs et mares) ce qui permet d'assurer la survie des populations. Aussi la qualité et la quantité de nourriture, ainsi que la température du milieu influent sur leur croissance et leur fécondité (Pourriot *et al.*, 1982).

La faune piscicole présente ses caractéristiques propres qui sont par ailleurs mal connues au Cameroun. Zébazé Togouet (2000 et 2008) met en évidence la diversité spécifique des rotifères dans le Lac Municipal de Yaoundé ; alors que Nzieleu Tchapgouo (2006), se focalise sur le polymorphisme des Brachionidae dans les étangs d'Obili et d'Efoulan. On peut aussi citer les travaux de Chiambeng *et al.* (1994) et Akum *et al.* (2001) dans plusieurs lacs camerounais. A ces travaux s'ajoutent ceux de Dakwen *et al.* (2015) dans les étangs piscicoles de Simbock à Yaoundé. Toutefois, il existe à notre connaissance, très peu des données sur la diversité des

Rotifères et les différents niveaux trophiques qu'ils occupent dans les étangs de pisciculture au Cameroun.

#### **I.5.2.1.1.2. Copépodes**

Les Copépodes sont des Arthropodes dont trois ordres seulement sont dulcicoles à savoir l'ordre des Calanoïda (plus souvent planctonique), l'ordre des Cyclopoïda (planctonique ou benthique) et l'ordre des Harpacticoïda (benthique). Leur taille varie suivant les espèces entre 0,3 et 8 mm et ils sont caractérisés par un corps fusiforme (Dussart, 1980 ; Glime, 2017) comprenant trois parties :

- Un céphalosome antérieur formé de six segments soudés dont les appendices sont transformés en organes préhensiles ou masticateurs ;

- Un thorax médian fondamentalement constitué de cinq segments tous porteur d'une paire d'appendices natatoires ou préhensiles ;

Ces deux parties sont souvent soudées pour former le céphalothorax

- Un abdomen postérieur formé de cinq segments dont les deux premiers, plus ou moins soudés constituent le segment génital. Le dernier segment ou segment anal porte deux branches du telson qui constituent la furca prolongée de soies caractéristiques : c'est l'urosoma.

Les Copépodes présentent un dimorphisme sexuel et des variations importantes de la morphologie lors de leur croissance qui rend leur identification difficile (Dussart & Defaye, 1995). L'une et/ou les deux antennules sont géniculés chez les mâles alors que les femelles portent un et/ou deux sacs ovigères. Les œufs libèrent les larves nauplii qui subissent cinq mues successives aboutissant à la larve copépodite. Ces dernières subissent cinq autres mues pour donner le copépodite VI qui est en fait un jeune adulte. C'est à ce stade que l'on peut identifier le Copépode. En écologie, on les regroupe par tranche d'âge pour les études lorsque ces stades larvaires sont les plus abondants dans les échantillons.

L'alimentation des copépodes varie avec le groupe et le stade de développement. En effet les nauplii I ne se nourrissent pas alors que les autres stades naupliens sont microphages, et tous les stades copépodites sont microphages ou végétariens. Les cyclopoïdes peuvent être carnivores, végétariens, ou même omnivores (Glime, 2017). Les harpacticoïdes sont brouteurs ou détritivores. Au stade adulte, les Copépodes sont sensibles aux conditions du milieu tels la température et le degré de minéralisation du milieu. En effet les représentants de certains genres préfèrent les eaux très peu minéralisées (*Mesocyclops*, *Tropocyclops*, *Thermocyclops*), alors que d'autres ne se rencontrent que dans les eaux saumâtres (Dussart, 1980).

En dehors des travaux faunistiques de Dussart & Gras (1966) sur le lac Tchad, de Zébazé Togouet (2000 et 2008) et de Zébazé Togouet *et al.* (2005) sur le Lac Municipal de Yaoundé, très peu d'études concernant les copépodes ont été réalisées dans les étangs piscicoles au Cameroun.

#### **I.5.2.1.1.3 Cladocères**

Les cladocères sont des Arthropodes crustacés caractérisés par une large tête, des appendices de différentes tailles, et par une paire d'antennes natatoires très développées. Ils présentent une carapace bivalve bien développée et un corps segmenté possédant cinq à six paires d'appendices thoraciques (Smirnov & Korovchinsky, 1995). Communément appelés « puces d'eau » les systématiciens les regroupent en trois ordres : Daphniiformes, Polyphemiformes, Leptodoriformes (Fernando, 2002). C'est un groupe très complexe dont les représentants ont une taille comprise entre 0,3 et 6 mm. Ils colonisent les eaux douces, les milieux marins et terrestres. Ils peuvent aussi être semi-terrestres ou spasmophiles. A l'exception de quelques prédateurs et ectoparasites, tous les autres Cladocères sont des filtreurs plus ou moins spécialisés (Amoros, 1984 ; Glime, 2017). Les populations de Cladocères sont très souvent constituées uniquement de femelles qui se reproduisent par parthénogenèse, la reproduction sexuée correspondant à une détérioration des conditions environnementales. A l'exception des travaux de Zébazé Togouet (2000 et 2008) et de Zébazé Togouet *et al.* (2005) sur le Lac Municipal de Yaoundé, Dakwen *et al.* (2015) sur les étangs piscicoles de Simbock-Yaoundé, la littérature reste pauvre sur les Cladocères des étangs piscicoles au Cameroun.

#### **I.5.2.1.2. Rôle du zooplancton dans les étangs de pisciculture**

Dans les étangs de pisciculture, le zooplancton est la principale source de protéines des alevins de poissons et constitue un maillon très important de leur réseau trophique. Il intervient en effet par sa biodiversité et par sa place de consommateur dans les chaînes alimentaires (Zébazé Togouet, 2008). La figure 10 donne un résumé de l'ensemble des niches écologiques que peuvent occuper les composantes du zooplancton et les interrelations possibles avec le milieu.

Les Rotifères sont à majorité des consommateurs de premier ordre et expriment leur sensibilité à la pollution par la reproduction sexuée. Ainsi, la rareté de certaines espèces dans une niche écologique est tout d'abord l'effet de la compétition interspécifique à laquelle s'ajoute la prédation exercée par les consommateurs de second ordre dont les Cladocères, les Copépodes, les alevins et les poissons planctonophages. De même, les populations des grands

filtreurs crustacéens (Copépodes et Cladocères) sont contrôlées par prédation par les consommateurs de troisième ordre dont les poissons zooplanctonophages à l'instar de *Oreochromis niloticus* qui, à son tour sert de nourriture pour les poissons carnivores ou omnivores. L'alimentation du poisson ou du zooplancton par prédation remet en suspension les matières organiques et minérales influençant à leur tour les propriétés optiques de l'eau, mais aussi rend disponible le phosphore nécessaire à la photosynthèse.

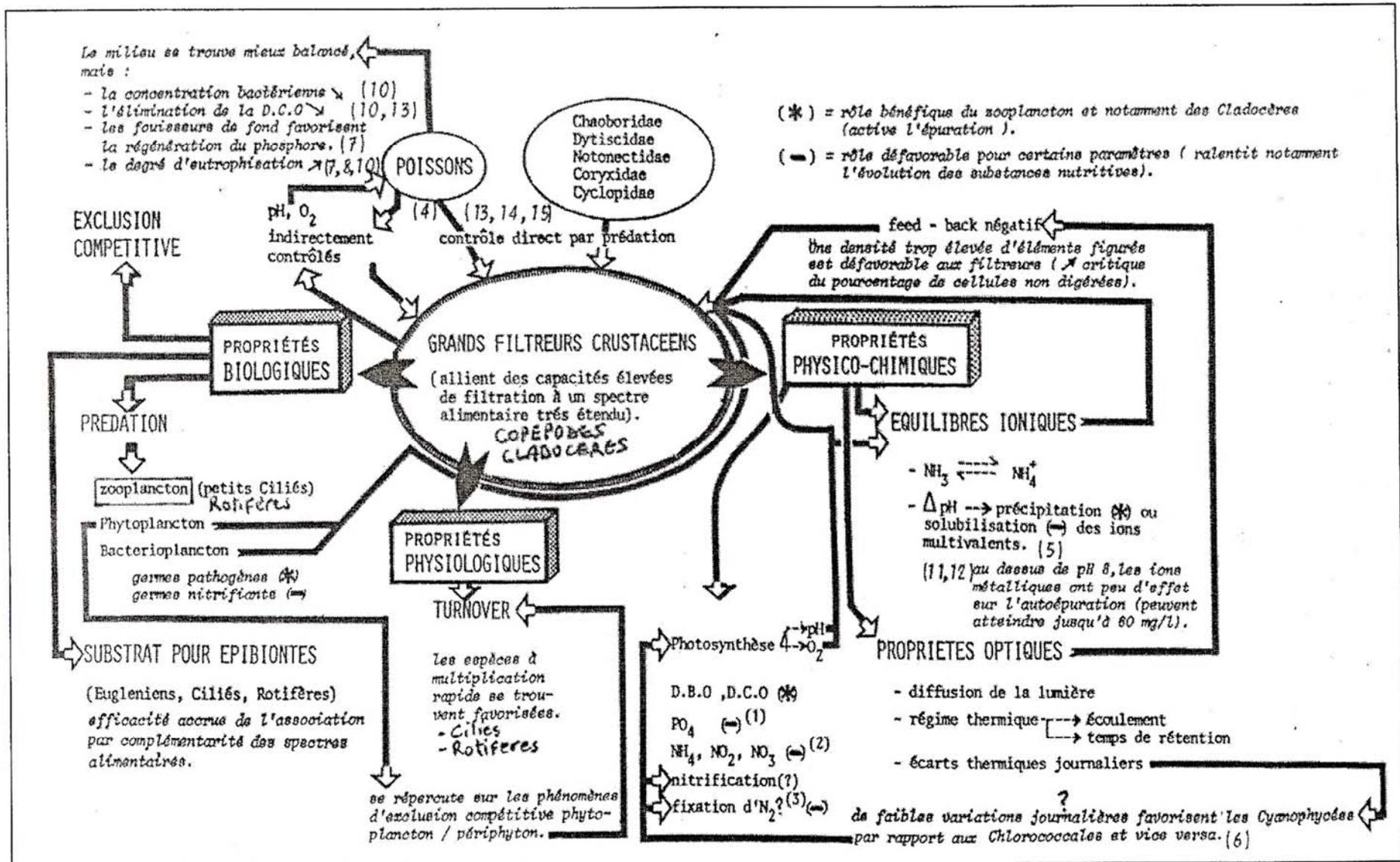


Figure 10 : Résumé de l'ensemble des niches écologiques occupées par le zooplancton et des différentes inter-actions entre les organismes zooplanctoniques et les variables physico-chimiques du milieu (D'après Angeli, 1980) modifié par Zébazé Togouet (2000).

#### **I.5.2.1.2.1. Source de protéines pour les alevins et les poissons planctonophages**

Le zooplancton en général et les Cladocères en particulier jouent un important rôle dans la nutrition des poissons (Amoros, 1984 ; Adewumi, 2015 ; Shourbela *et al.*, 2016). Les poissons zooplanctonophages représentent 40% de l'ichtyomasse dans la région orientale de la France (Lauzanne, 1998), ce qui témoigne de l'importance du zooplancton en général comme source de nourriture. Par ailleurs, Telesh (1993), Dabbadié (1996) puis Zébazé Togouet (2000) relèvent que la majorité de nourriture contenue dans les estomacs des alevins sont les Rotifères. De même les Cladocères sont séchés et utilisés pour la culture des alevins de poissons (Amoros, 1984). Le zooplancton consomme les matières biologiques qu'il transfère directement aux alevins de poissons chez qui il constitue la principale source de protéines (Fernando, 1994 ; Shiel *et al.*, 1998). Dans les étangs piscicoles, Adewumi (2015) puis Shourbela *et al.* (2016) ont montré que les larves, les alevins et les juveniles de *Clarias gariepinus* présentent un taux de survie très satisfaisant lorsqu'ils se nourrissent exclusivement du zooplancton. Adouvi (2013) avait déjà montré que le zooplancton associé à l'aliment de l'adulte de *C. gariepinus* en remplacement du tourteau de soja améliore la croissance spécifique de ce poisson.

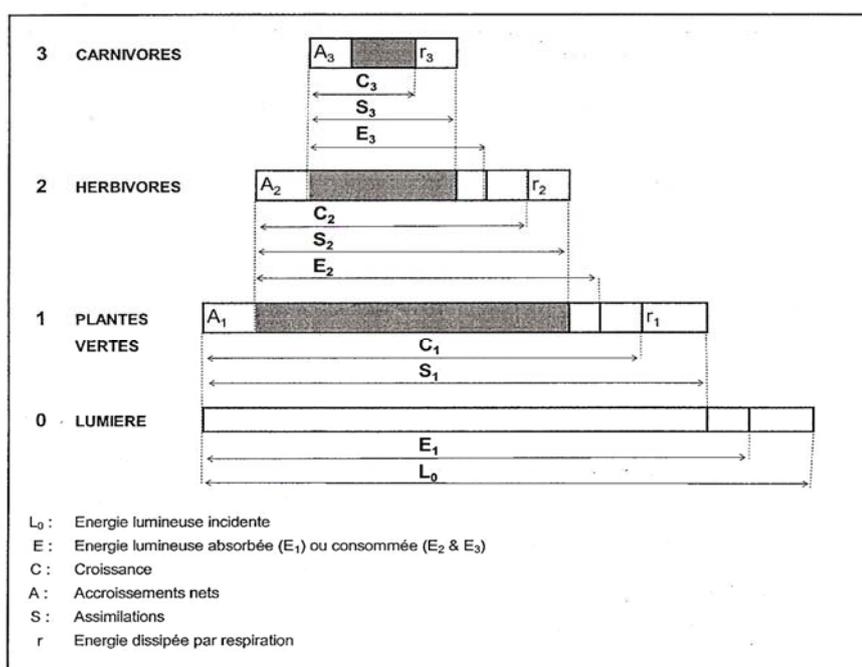
#### **I.5.2.1.2.2. Maillon important du réseau trophique de l'étang**

Les organismes zooplanctoniques sont des consommateurs de premier ordre et plus. Ils exercent donc une forte influence sur la biodiversité des étangs. Shiel *et al.* (1998) confirment le fait que les régions marécageuses, les lacs et les étangs présentent une très forte biodiversité spécifique du zooplancton avec 30 à 100 espèces de rotifères pour 10 à 30 espèces de microcrustacés. Non seulement le zooplancton participe à la formation des détritiques, mais il joue aussi le rôle principal de lien dans le réseau trophique entre le phytoplancton et les consommateurs de niveau élevé (Longheed & Chow Fraser, 1998). En effet 80 % de la production primaire est consommée par les bactéries, les protozoaires et les zooplanctons (Arndt, 1993 ; Schlumberger et Bouretz, 2018). Les organismes zooplanctoniques assurent ainsi une fonction très importante dans le transfert de la matière et de l'énergie dans de nombreux écosystèmes d'eau douce dont les étangs piscicoles (tableau IV). Les matières biologiques consommées sont transférées aux alevins de poissons (Pourriot et Champ, 1982) dont ils sont la principale source d'alimentation (Zébazé Togouet, 2008) et aux poissons planctonophages (à l'instar de *Oreochromis niloticus*).

**Tableau IV:** Devenir des matières ingérées par les divers groupes zooplanctoniques

Zooplancton	Assimilation (A) et Excrétion (E)	Production nette (PN) et Respiration (R)
Rotifères (exemple du genre <i>Brachionus</i> )	A = 30%	PN = 15%
	E = 70%	R = 15%
Copépodes (Exemple du genre <i>Macrocylops</i> )	A = 50%	PN = 15%
	E = 50%	R = 35%
Cladocères (Exemple du genre <i>Daphnia</i> )	A = 29%	PN = 15%
	E = 71%	R = 14%

Wallace et Snell (2001) évaluent le taux de filtration entre 1 à 10  $\mu\text{L}/\text{individu}/\text{jour}$  et signalent que ce taux atteint très rarement 50  $\mu\text{L}/\text{individu}/\text{jour}$  chez les Rotifères, 10 à 150  $\mu\text{L}/\text{individu}/\text{jour}$  chez les Cladocères et 100 à 800  $\mu\text{L}/\text{individu}/\text{jour}$  chez les Copépodes. Toutefois les Rotifères peuvent exercer une pression beaucoup plus forte que les microcrustacés sur le phytoplancton en raison de leurs effectifs. Le transfert d'énergie peut se faire de manière indirecte lorsque les compartiments zooplanctoniques herbivores sont d'abord consommés par les organismes zooplanctoniques carnivores (Dobberfuhl *et al.*, 1997) ou par les macroinvertébrés (ex : *Choaborus*). Ainsi donc, le zooplancton peut occuper les positions 2 et 3 du schéma de transfert d'énergie (Fig. 11).



**Figure 11 :** Répartition de l'énergie aux différents niveaux trophiques d'un écosystème lacustre (D'après Dussart, 1992).

Il est à noter que les organismes zooplanctoniques sont des biofiltreurs et sont par conséquent responsables du comportement auto-épurateur des eaux. Ces organismes en particulier les rotifères et certains cladocères sont donc responsables de l'alternance entre l'état eutrophe et l'état oligotrophe dans les étangs de pisciculture (Barroin, 1980). Ils peuvent être des vecteurs des affections pouvant atteindre les poissons dans les étangs et même les porcs en élevage (Dussart & Defaye, 1995). Compte tenu des multiples rôles des organismes zooplanctoniques, il est judicieux de mener des investigations sur ces groupes d'organismes dans les étangs de pisciculture.

### **I.5.2.1.3. Ecologie des communautés zooplanctoniques**

#### **I.5.2.1.3.1. Dynamique d'abondance des peuplements zooplanctoniques**

La dynamique d'abondance est l'étude des variations spatio-temporelles des effectifs numériques d'une population ou de sa biomasse (Lebrun, 1973). Autrement dit, c'est l'étude de la population en tant que système fonctionnel. Toute étude spatio-temporelle implique l'observation des causes des changements numériques, des migrations et des facteurs antagonistes qui concourent à maintenir un certain niveau de densité à un moment donné. Cette dynamique intègre les changements à la fois au niveau individuel, au niveau des communautés et au niveau des écosystèmes. La population se définit comme un ensemble d'individus de la même espèce s'influçant mutuellement dans un espace déterminé et ayant des affinités zoologiques et écologiques. On sait aujourd'hui que les mouvements du zooplancton ont une importance significative sur les éléments nutritifs, sur les prédateurs, sur la compétition et sur les caractéristiques biologiques et physiques du milieu (Zébazé Togouet, 2008).

L'évaluation de la quantité d'énergie qu'un plan d'eau reçoit ou de la manière dont cette énergie est utilisée passe par la connaissance quantitative et qualitative des différentes communautés qui composent la biomasse (Zébazé Togouet, 2008). En effet, chez les Rotifères, le nombre d'espèces et le nombre d'individus généralement élevés en étang piscicole des zones tropicales par rapport aux microcrustacés trouvent une explication dans leur caractère opportuniste leur permettant de mieux résister aux variations des conditions de l'environnement, et à leur plus grande compétitivité dans ces milieux en raison de leur taille et de leur plasticité alimentaire face aux diverses ressources disponibles. Les Rotifères peuvent produire jusqu'à 60% de la biomasse en zone tropicale (Zébazé Togouet *et al.*, 2005). Selon Nogrady *et al.* (1993), les rotifères sont largement répandus dans tous les micro-habitats des milieux aquatiques dulcicoles dont les étangs piscicoles avec des densités souvent proches de 1 000 ind./L lorsque le milieu est eutrophe. En cas d'enrichissement de l'écosystème en matières organiques, ils atteignent de très fortes densités et le record de 600 000 ind./L a déjà

été enregistré dans les mares natronées du Tchad (Iltis & Riou-Duwat, 1971). Zébazé Togouet (2008) a observé une densité de 182180 ind./L dans la colonne d'eau du Lac Municipal de Yaoundé, eutrophe, en juillet 1997. Parlant de la variation saisonnière de l'abondance des Rotifères en zone tropicale, Nziéleu Tchagnouo *et al.* (2012) relèvent que quelques travaux font état de petites variations surtout influencées par les pluies qui y sont abondantes. Dakwen *et al.* (2015) ont enregistré une valeur maximale de zooplancton de 261 ind./L dans un étang piscicole sporadiquement fertilisé, oligomésotrophe, à Yaoundé au Cameroun.

Les microcrustacés, bien que moins abondants dans le milieu, apportent une contribution importante dans la biomasse zooplanctonique. Pourriot & Champ (1982) précisent que l'abondance des espèces zooplanctoniques est inversement proportionnelle à leur taille ; c'est ainsi qu'ils rapportent des abondances de 1000 à 5000 ind./L pour les crustacés herbivores. En fait, les Cyclopoïdes de petite taille pourraient être représentés par plusieurs dizaines d'individus par litre contre quelques individus par litre pour ceux de grande taille (Zébazé Togouet, 2008). En zone tropicale, les populations de Copépodes sont généralement composées de plus de 50% de formes larvaires que sont les nauplii et les copépodites.

#### **I.5.2.1.3.2. Indices de diversité**

Les indices de diversité mesurent la diversité spécifique et apportent des informations sur la structure de la communauté dont est issu l'échantillon. La diversité rend compte de la pluralité des fonctions, précisément des modes de transfert d'énergie (Blondel, 1979). L'évolution spatio-temporelle de ces indices reflète l'évolution de la structure de la population (Devaux, 1977). Plusieurs indices de diversité répartis en deux groupes sont proposés pour rendre compte de la structure des peuplements à savoir :

- Les indices de diversité s'appuyant essentiellement sur les formes dominantes, qui restent peu sensibles à la présence des formes rares qui sont indépendantes de la taille de l'échantillon. C'est le cas par exemple de l'indice de Simpson (1949) ;
- Les indices de diversité qui prennent en compte la taille de l'échantillon et les proportions relatives des espèces. Ils dérivent de la théorie de l'information et parmi ceux-ci l'indice le plus utilisé et sans doute le plus fiable (Amblard, 1987) est celui de Shannon et Weaver (1948).

A côté de ces indices de diversité, on trouve :

- L'Équitabilité de Pielou encore appelée indice d'équirépartition qui est souvent utilisée pour accompagner l'indice de Shannon et Weaver. L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle est très

utile pour comparer la répartition de l'abondance entre les espèces en présence, entre stations ou entre campagnes d'échantillonnage (Grall & Hily, 2003).

- L'indice de Similarité de Sørensen est utilisé pour comparer des échantillons provenant des biotopes plus ou moins différents. Il est basé sur le critère présence - absence. Cet indice permet d'obtenir à partir d'un tableau à double entrée, la matrice carrée des affinités entre les relevés pris deux à deux.

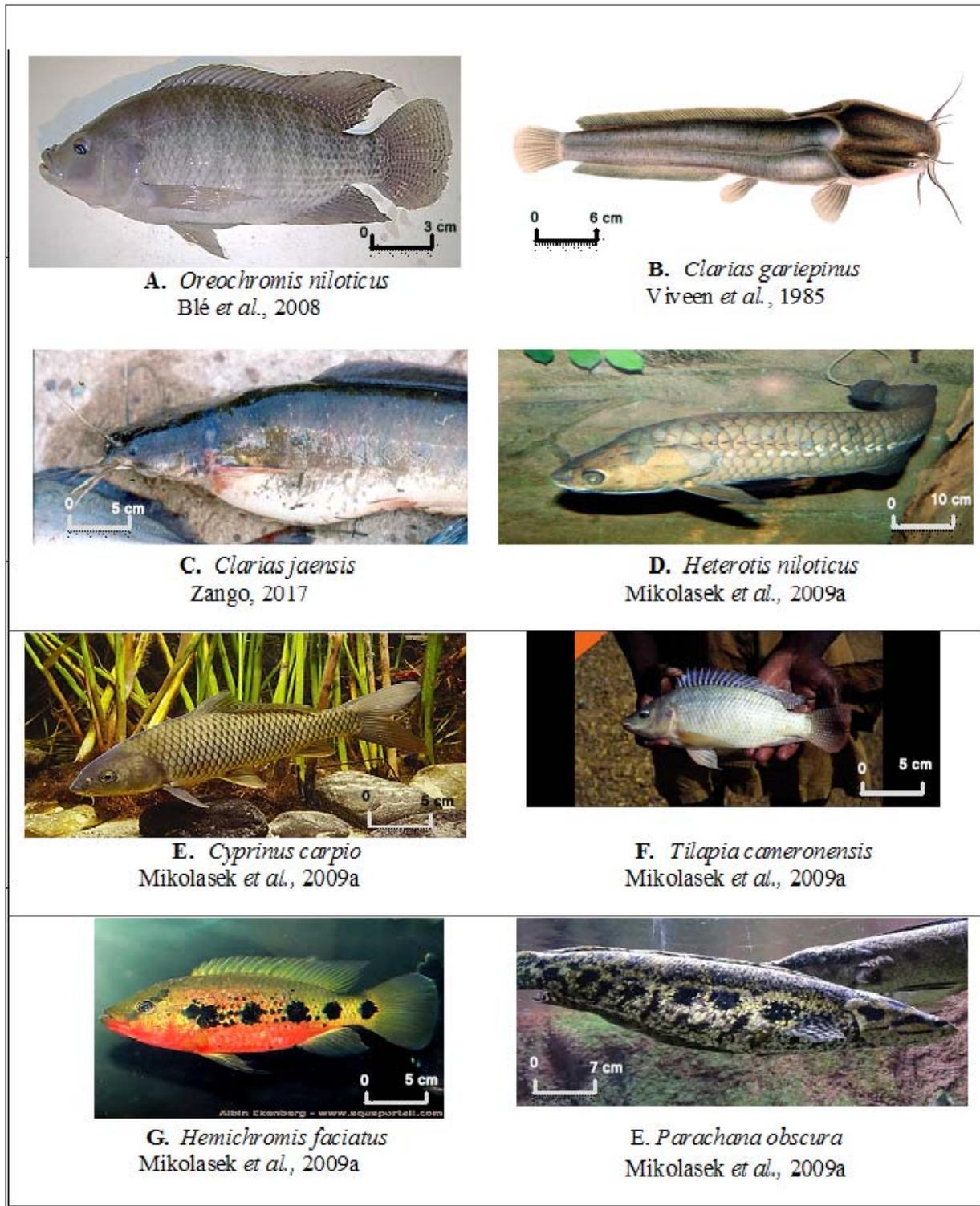
### **I.5.2.2. Biologie et écologie des principales espèces de poissons utilisées en pisciculture au Cameroun**

La plupart des poissons cultivés en Afrique sub-saharienne et particulièrement au Cameroun sont omnivores, détritivores et microphages mais leurs alevins sont planctonophages (Pouomogne, 1998). Il s'agit des poissons localement appelés tilapia (*Hemichromis fasciatus*, *Tilapia camerounensis*, *Oreochromis niloticus*), silure ou poisson-chat (*Clarias gariepinus*, *Clarias jaensis*), poisson-vipère (*Parachanna obscura*), kanga (*Heterotis niloticus*), carpe (*Cyprinus carpio*) (Fig. 12).

#### **I.5.2.2.1. Tilapia**

Les tilapias sont des poissons osseux de la famille des Cichlidae, caractérisés par le corps recouvert d'écailles imbriquées, trois rayons épineux à la nageoire anale et la présence de deux lignes latérales discontinues. Près de 100 espèces réparties en trois genres sont endémiques du continent africain (*Oreochromis*, *Sarotherodon*, *Tilapia*) (Lacroix, 2004). Le groupe des tilapias occupe le deuxième rang mondial des poissons d'élevage après les carpes. Leurs caractéristiques biologiques et zootechniques (rusticité, reproduction spontanée en captivité, régime alimentaire peu exigeant en protéines, plasticité vis-à-vis des systèmes d'élevage) sont particulièrement adaptées à l'élevage (Lazard, 2009 et 2017 ; Zango, 2017). Parmi les espèces recensées en Afrique, *Oreochromis niloticus* (tilapia du Nil) est très sollicité par les pisciculteurs au Cameroun grâce à ses performances d'élevage. Elle se distingue des autres espèces du genre *Oreochromis* par les bandes verticales régulières noires existant sur la nageoire caudale. Ce poisson a une taille maximale d'environ 40 cm et se reproduit à partir de 40 g de poids (Dabbadié, 1996). Le tilapia du Nil, originaire des bassins fluviaux africains est aujourd'hui présent dans tous les cours d'eau camerounais où il se reproduit naturellement (Assiah *et al.*, 1996). Au Cameroun, son élevage est conduit en sexes mélangés avec des populations dont l'origine n'est pas toujours connue. Les poissons de certains élevages de la région du Centre, présentent une perte de croissance proche de 40% comparée à une souche provenant du fleuve Sanaga (Brummett *et al.*, 2004 a). Cette baisse de performance pourrait

être liée à la manière dont les géniteurs sont gérés. Aussi, ces auteurs recommandent aux producteurs de renouveler une partie de leur stock de géniteurs à partir de poissons du milieu naturel.



**Figure 12** : Principales espèces de poissons utilisées en pisciculture au Cameroun.

Le régime alimentaire de *O. niloticus* en milieu naturel est microphytophage, constitué essentiellement de phytoplancton dont les cyanobactéries (Mukankomeje *et al.*, 1994 ; Blé *et*

al., 2008). Cependant du fait de l'ampleur de son degré d'opportunisme, son régime alimentaire se rapprocherait beaucoup plus de celui des poissons omnivores-détritivores que des herbivores stricts (Bowen, 1982 ; Zébazé Togouet 2000 ; Dabbadie *et al.*, 2002). L'analyse du contenu stomacal de *O. niloticus* élevé en étang montre par ordre d'importance la présence des Rotifères, Cladocères, Copépodes, larves de chironomidés, diatomées, chlorophycée, cyanophycées, débris de macrophytes, nanoplancton et argile (Yashouv et Chervinski, 1961 ; Zébazé Togouet 2000). Aussi ce poisson effectue une adaptation morphologique et comportementale selon le milieu de vie, et développe une plasticité alimentaire lui permettant de se nourrir, même à partir des aliments les moins digestibles. Après exposition de *O. niloticus* à plusieurs situations d'élevage, Veverica *et al.* (1991) constatent qu'en étang fertilisé par l'urée et le superphosphate, l'estomac contient les cyanobactéries en grand nombre et des quantités non négligeables de cristaux de quartz et de débris végétaux ; par contre en étang fertilisé par les fientes de poules ou lisier de porcs, l'estomac présente en abondance le zooplancton et des quantités non négligeables de débris et de cyanobactéries. Dabbadié (1996) travaillant dans les étangs en Côte-d'Ivoire arrive à la conclusion selon laquelle le régime alimentaire de *O. niloticus* est détritivore en saison de pluie et herbivore en saison sèche, l'alimentation des individus adultes n'étant pas très différente de celle de leurs alevins. Ces derniers consomment préférentiellement les petits invertébrés et en particulier les microcrustacés (Bowen, 1982). La variabilité du régime alimentaire dépend de la nature des aliments disponibles, la principale cause de cette variabilité selon Lauzanne (1998) étant la fluctuation du niveau des eaux de l'étang. Tout compte fait, *O. niloticus* prélève ses aliments aussi bien en pleine eau que sur le fond ou sur des substrats, soit par succion de particules, soit par filtration, soit par broutage et racleage.

Les meilleures performances de croissance de *O. niloticus* en eau douce sont observées à 28-31°C avec des quantités d'oxygène dissous supérieures à 2 mg/l (Froese et Pauly, 2010), un pH de 7 à 8,5 et des teneurs en azote ammoniacal inférieures à 1 mg/l (tolère les teneurs en azote ammoniacal allant jusqu'à 3,4 mg/l, la dose létale étant supérieure à 4 mg/l) (Pouomogne, 1994). En étang, la très grande prolificité de cette espèce rend nécessaire la présence d'un prédateur au sein de l'élevage pour le contrôle de la production d'alevins et garantir une croissance régulière et maximale des poissons marchands même en cas d'usage d'une population monosexue mâle (aucune méthode ne garantit une réussite du sexage de 100%). Dans le cas contraire, les nombreux alevins détourneraient une bonne partie des ressources trophiques de l'étang au détriment des poissons destinés au marché (Baroiller et Jalabert, 1990 ; Lazard et Oswald, 1995). Plusieurs prédateurs existent, à savoir *Hemichromis fasciatus*, *Parachanna obscura* et les claridés *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus isopterus* avec des résultats de

contrôle des populations plus ou moins satisfaisants (Pouomogne, 1994 ; Lazard et Oswald, 1995 ; Zango, 2017).

Pouomogne (1996), Dabbadié *et al.* (2002) suggèrent que les performances d'élevage passent du simple au double dans les systèmes semi-intensifs lorsqu'un contrôle de routine a été accordé aux étangs en début d'élevage de manière à ce que l'adaptation aux intempéries du nouveau milieu de vie soit progressive chez l'alevin ; ce qui relèverait le taux de survie. Zango (2017) a montré que *Clarias jaensis* est un candidat potentiel pour l'amélioration de la production du tilapia. Des travaux menés par cet auteur dans des étangs semi-intensifs (1,2 ind./m<sup>2</sup> nourris aux fientes de poules), relèvent chez *O. niloticus*, un taux de survie de 65% et une croissance spécifique de 0,26 g/j lorsqu'il est associé à *Clarias gariepinus*, et les valeurs respectives de 90% et 0,33 g/j lorsqu'il est en polyculture avec *Clarias jaensis*.

#### **I.5.2.2.2. Silures**

Le poisson communément appelé Silure, *Clarias* ou poisson-chat africain, appartient à l'ordre des siluriformes, poissons téléostéens caractérisés entre autres par le corps nu et la présence de barbillons mandibulaires. Il compte 31 familles pour environ 200 espèces (Zango, 2017). Cinq espèces sont courantes en pisciculture dans le monde, les espèces les plus cultivées au Cameroun étant *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* (Pouomogne, 1998) auxquelles s'ajoute *Clarias jaensis* (Zango, 2017). En raison de leur double respiration qui rend facile leur manutention, le milieu de vie préférentiel de ces poissons est le compartiment benthique qu'ils fouillent à la recherche de la nourriture. Cependant, ils remontent régulièrement en surface à la recherche de l'air. Les particules d'argiles et autres sont ainsi, permanentement mises en suspension et augmentent la turbidité particulière de l'eau, réduisant considérablement le développement du plancton (Schlumberger, 2002).

##### **I.5.2.2.2.1. *Clarias gariepinus***

*Clarias gariepinus* est l'espèce la plus cultivée dans la région du Centre au Cameroun. Son milieu de vie préférentiel est caractérisé par la profondeur de l'eau entre 0,5 et 1,5 m, les teneurs d'azote ammoniacal entre 2,5 et 6,5 mg/L, les teneurs de nitrite inférieures à 0,25 mg/L (Viveen *et al.*, 1985), les valeurs de température entre 17 et 32,5°C (Hecht *et al.*, 1988), le pH entre (5 et 9), les teneurs en oxygène dissous entre 0,5 et 7,43 mg/L (Delincé, 1992). Sa croissance maximale s'exprime aux températures allant de 27,5-32,5°C et pour des pH compris entre 6,5 et 8 (Hogendoorn *et al.*, 1998).

*Clarias gariepinus* a un régime alimentaire omnivore à tendance prédatrice à partir de 150 g de poids (Hecht *et al.*, 1988 ; Froese et Pauly, 2010). Ses larves (< 3 mg), ses alevins (<

1 g) et ses juveniles (< 10 g) sont exclusivement zooplanctivores (Bowen, 1982 ; Fernando, 2002 ; Oyelese *et al.*, 2014 ; Zango, 2017). De Graaf *et al.* (1996) ont observé une forte diminution du nombre d'alevins produits par *O. niloticus* en polyculture avec *Clarias gariepinus* dans des étangs semi-intensifs. De même Gamel *et al.* (1998) ont constaté une diminution de la pression de prédation par *C. gariepinus* sur les alevins de *O. niloticus* en étang supplémenté avec les aliments artificiels. Oyelese *et al.* (2014) ont relevé qu'une alimentation à satiété réduit considérablement la pression de prédation de *C. gariepinus* sur les alevins. Zango (2017) a montré que la croissance spécifique de *O. niloticus* est plus satisfaisante lorsqu'en polyculture avec *Clarias gariepinus*, le poids de ce dernier à la mise en charge est élevé (> 50 g) comparativement à ses alevins (environ 3 g) fréquemment utilisée. Ce poisson régule également la population des poissons planctonophages tel que *Oreochromis niloticus* en détruisant les nids d'œufs dans la vase. Aussi, lorsque le plan d'eau est peu enrichi en matière organique alors que les individus en présence n'ont pas les mêmes poids, le cannibalisme peut se développer au sein de cette même fratrie (Lacroix, 2004).

Sa vitesse de prise de poids varie selon les conditions d'élevage (mode et le milieu d'élevage, alimentation) et peut dépasser 5 g/jour à partir de 500 g de poids (Pouomogne, 1998). En effet la croissance spécifique de *C. gariepinus* est en moyenne de 1,8 g/j en cage, de 2,3 g/j en étang intensif, de 0,99 g/j lorsqu'il est en polyculture avec *O. niloticus*, *Cyprinus carpio* et *Hypophthalmichthys molitrix* (Abuo-sief *et al.*, 2012) et de 0,59g/j lorsqu'il est élevé en bassin bétonné (Elegbe *et al.*, 2015). Adouvi (2013) a aussi montré que le gain journalier de poids chez *Clarias gariepinus* nourri à l'aliment dont la farine de poisson a été substituée par du tourteau de soja à 30% est en moyenne de 25% plus élevé que celui dont le niveau de substitution a été de 60%. De même, le taux de survie chez *Clarias gariepinus* dépend du mode et milieu d'élevage, de la densité de mise en charge, du stade de croissance. Le taux de survie de *C. gariepinus* et *O. niloticus* en polyculture à la densité de 1/3 a été respectivement de 98,3% et 60,83% alors qu'à la densité de 1/1, il a été respectivement de 60,06% et 100% (Olele et Tighiri, 2012). Les travaux de Coulibaly (2008) ont montré que ce Clarias élevé en cage couverte de bâche noire donne un taux de survie de 75% contre 66,5% en cage non couverte.

*C. gariepinus* se reproduit en étang où le taux de survie des alevins est faible, voire nul à cause du cannibalisme qui s'ajoute aux variations brusques des conditions du milieu de vie (Pouomogne, 1998). C'est ainsi que Rukera *et al.* (2005) ont obtenu au stade larvaire (4<sup>ème</sup> jour) un taux de survie de 45,1% contre 42,68% au stade alevin et 88,4% au stade juvénile. Cependant, au cours des travaux menés sur la survie des larves de *Clarias gariepinus* nourris

exclusivement au zooplancton, Adewumi (2015) enregistre un taux de survie de 69% chez les larves de 8 jours (3 mg) et Shourbela *et al.* (2016) 70,3% chez les alevins de 21 jours (1 g).

#### **I.5.2.2.2 *Clarias jaensis***

Cette espèce de la famille des Clariidés peuple les eaux de quelques pays africains (Froese et Pauly, 2010): rivière Ogooué au Gabon ; rivières Sanaga, Nyong, Kribi, Ntem, Dja, Nkam et Sangha au Cameroun ; cours d'eau du Sud-Est Nigeria. Communément appelée « silure local » dans la région de l'Ouest au Cameroun, cette espèce est encore très peu étudiée. Comparativement au *C. gariepinus*, ce *Clarias* possède une tête relativement longue et, une courte et large fontanelle. La taille maximale observée est de 48,3 cm de longueur totale (Froese et Pauly, 2010). Son régime alimentaire n'a pas encore été décrit, mais pourrait être différent de celui du *Clarias gariepinus*. Il est introduit dans les piscicultures en cas d'insuffisance de disponibilité de *Clarias gariepinus*. Les pisciculteurs observent que *C. jaensis* contribuerait également au rendement final des étangs bien que sa croissance soit faible comparativement à celle du *C. gariepinus* (Efole Ewouken, 2011). Par ailleurs, *Clarias jaensis* est un candidat potentiel pour la diversification des espèces de silures en élevage au Cameroun (Zango, 2017).

#### **I.5.2.2.3. *Cyprinus carpio***

Appartenant à la famille des Cyprinidés, cette espèce, originaire des régions tempérées et froides a été introduite au Cameroun en 1970 (Moreau et Costa-Pierre, 1997). Elle s'accommode bien aux températures d'eaux chaudes tropicales et grossit rapidement (4 g/j) entre 25 et 30°C mais, sa reproduction naturelle est inhibée à ces températures. Elle tolère les fortes concentrations en azote ammoniacal (10-13 mg/l) et peut survivre à de très faibles concentrations en oxygène dissous (0.5 mg/l). Cependant pour des concentrations en O<sub>2</sub> dissous < 3 mg/l, la carpe arrête de s'alimenter et recherche des zones plus oxygénées en surface (Lafaille et Crivelli, 2011). Planctonophage au stade juvénile, la carpe devient essentiellement benthophage et omnivore au stade adulte (Ranson, 2003 ; Lafaille et Crivelli, 2011). La carpe se comporte très bien en polyculture avec le Tilapia lorsqu'elle est associée en faible densité. De par son activité de fouisseur, elle remet en suspension pour la photosynthèse du phosphore et des minéraux précipités.

L'association de *Cyprinus carpio* à 0,5 ind/m<sup>2</sup> en polyculture avec d'autres espèces de carpes (*Labeo rohita*, *Hypthalmichthys molitrix*, *Ctenopharyngodon idella*) en étang augmente considérablement la biodisponibilité des nutriments (N, P) (Rahman, 2006). Par contre associé en une forte densité au Tilapia, elle provoque une forte turbidité de l'eau et un déficit en O<sub>2</sub> dissous pouvant affecter la croissance de ce dernier. Ainsi, une densité de charge

en polyculture de Carpe-Tilapia dans un ratio 1/5 dans les systèmes d'élevage semi-intensifs donnait les meilleures croissances pour la carpe, conduisant à la production de grandes carpes en fin d'élevage (Karplus *et al.*, 1996). Cela a conduit à une augmentation de 41% du revenu global de ce système du fait du prix de vente élevé des carpes de grande taille. Au Bangladesh par exemple, l'association de la carpe avec le Tilapia a un rôle vital dans les systèmes d'élevage intégrés riz-poisson, car elle contribue à une exploitation efficace des populations d'Arthropodes, de la faune benthique et du phytoplancton et améliore le rendement global de production (Frei *et al.*, 2007).

#### **I.5.2.2.4. Autres espèces**

D'autres espèces sont également, souvent associées dans les étangs de pisciculture, où elles jouent différents rôles. Il s'agit de :

- *Tilapia camerounensis*, Cichlidae qui se trouve accidentellement dans les élevages. Il diffère de *O. niloticus* par sa faible productivité et sa petite taille (max 32 cm) ainsi que sa faible croissance en élevage (Breine *et al.*, 1996 ; Nguenga *et al.*, 1997).

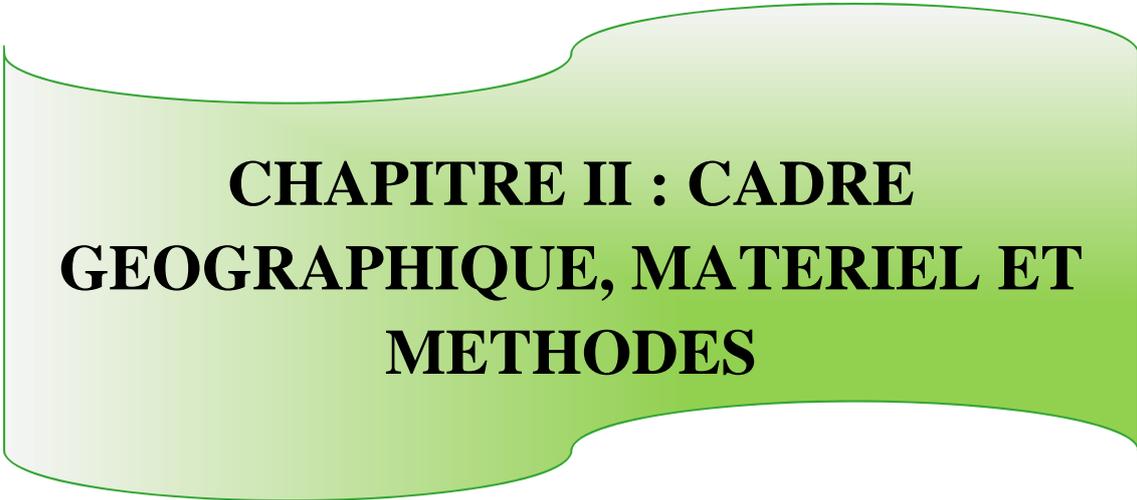
- *Hemichromis faciatus*, Cichlidae perciforme de petite taille, carnivore et de grande prolificité, est très efficace pour le contrôle de la prolifération des Tilapia dans les étangs (Lazard et Oswald, 1995). La longueur maximale observée est 26,5 cm pour un poids maximal de 300 g.

- *Heterotis niloticus* ; Arapaimidae communément appelé « Kanga » au Cameroun. C'est un Osteoglossiforme, unique espèce de sa famille en Afrique. Il est caractérisé entre autre par un corps allongé comprimé latéralement et recouvert de grandes écailles osseuses à consistance plus ou moins cornée (Lévêque *et al.*, 1990). La ligne latérale est complète et les nageoires ne sont composées que des rayons mous. La taille maximale observée est d'environ 98 cm pour un poids maximal de 10,150 kg (Mikolasek *et al.*, 2006). Il est capturé dans les zones calmes et profondes des fleuves et des lacs. C'est un poisson à respiration double donc capable de supporter de faibles teneurs en oxygène dissous. C'est un planctonophage, microphage couramment élevé en polyculture avec des espèces à spectre trophique complémentaire dans des étangs semi-intensifs de la région du Centre (Viveen, 1991).

- *Parachanna obscura* est un Channidae perciforme, poisson d'eau douce caractérisé par une tête ressemblant à celle d'une vipère, d'où son appellation commune. La taille maximale

rencontrée est de 50 cm pour un poids max de 1000 g. Ce poisson est généralement carnivore et est souvent utilisé pour le contrôle de la prolifération des Tilapia en étang (Edwards *et al.*, 1994).

La quantité et la qualité de la biocénose dans un étang de pisciculture sont tributaires des modifications du flux des nutriments qui parviennent en zone euphotique sous une forme biologiquement utilisable (Barroin, 1980). Le phytoplancton et le zooplancton des étangs de pisciculture regroupent ainsi les organismes majoritairement consommés par les poissons, le zooplancton étant la seule source de protéine animale qui conviendrait à certains alevins de poissons (à l'exemple des alevins de *C. gariepinus*). Angeli (1980) ajoute que la composition qualitative et quantitative de la biocénose des étangs de pisciculture est la résultante de phénomènes de compétition et d'exclusion, conditionnés essentiellement par la productivité des espèces, leurs capacités de filtration, l'étendue de leur spectre alimentaire et diverses caractéristiques de la nourriture disponible. Ainsi, la composition quantitative de la biocénose dépend de la qualité de l'eau qui est elle-même tributaire du programme de fertilisation et du contrôle de routine apporté à l'étang durant le cycle d'élevage (Pouomogne, 1998 ; Dakwen *et al.*, 2015). Dans les systèmes de production en élevage semi-intensif où la main d'œuvre est rare et les moyens financiers limités, le respect scrupuleux d'un programme de fertilisation et d'un entretien minutieux pendant la phase de démarrage (qui dure au moins de 4 mois) produirait des résultats satisfaisants à la fin du cycle d'élevage, et donc assurerait la viabilité et la durabilité du système.



**CHAPITRE II : CADRE  
GEOGRAPHIQUE, MATERIEL ET  
METHODES**

## II.1. Cadre géographique

Il s'est agi essentiellement de la zone d'étude. Il est important de connaître sa position géographique, son climat, l'état de son sol, son hydrographie et de présenter le site d'étude.

### II.1.1. Position géographique

D'une superficie de 68 953 km<sup>2</sup>, la région du Centre est subdivisée en 10 départements abritant au moins une ferme piscicole chacun. Yaoundé, chef-lieu de la région du Centre est située sur la bordure Ouest du plateau sud camerounais, à 250 km de la côte atlantique (Bachelier, 1959). De relief très accidenté, ce plateau a une altitude moyenne de 750 m et présente une surface ondulée qui permet d'observer une alternance de collines et de vallées gorgées d'eau (Eno Belinga et Kabeyene, 1982 ; Ekodeck, 1984 ; Wonkna *et al.*, 2003). La région de Yaoundé présente plusieurs bassins versants dont les deux principaux sont le bassin versant du Mfoundi et le bassin versant de la Mefou. Ce dernier, situé entre les latitudes 3°30' et 3°58' Nord et les longitudes 11°20' et 11°40' Est, draine partiellement la ville de Yaoundé et est moins anthropisé que le bassin du Mfoundi. Il s'étend en partie sur les arrondissements de Yaoundé VI et Yaoundé IV, zones davantage anthropisées du fait de la forte démographie galopante de la localité.

De façon plus précise, la zone d'étude est située à Yaoundé IV au quartier dit Ekoumdoum-Immeuble Happi, entre les latitudes 3°48'45'' et 3°49'15''N et les longitudes 11°31'45'' et 11°32'10''E (Fig.13).

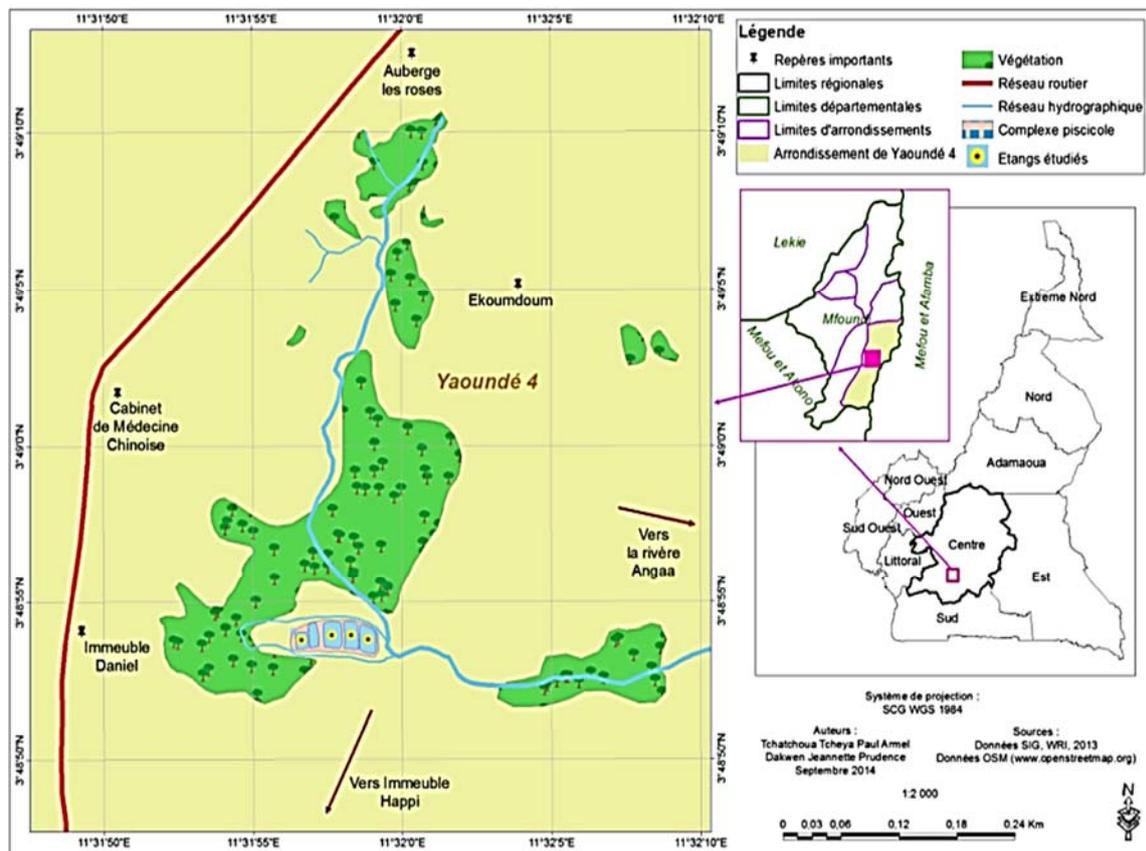


Figure 13 : Localisation de la zone et du site d'étude

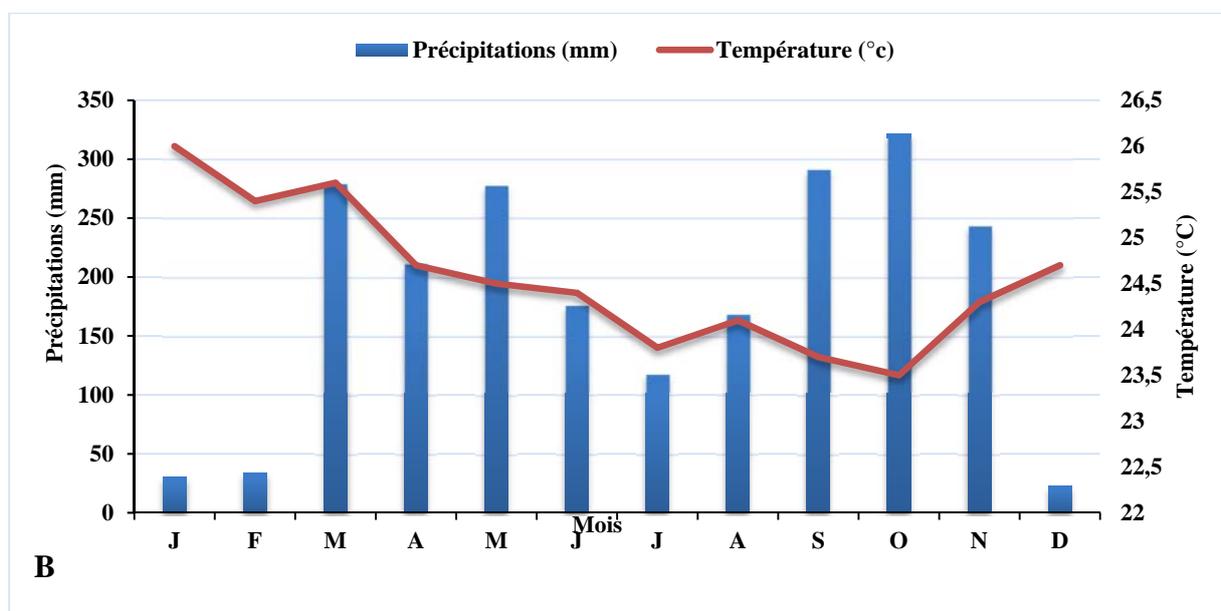
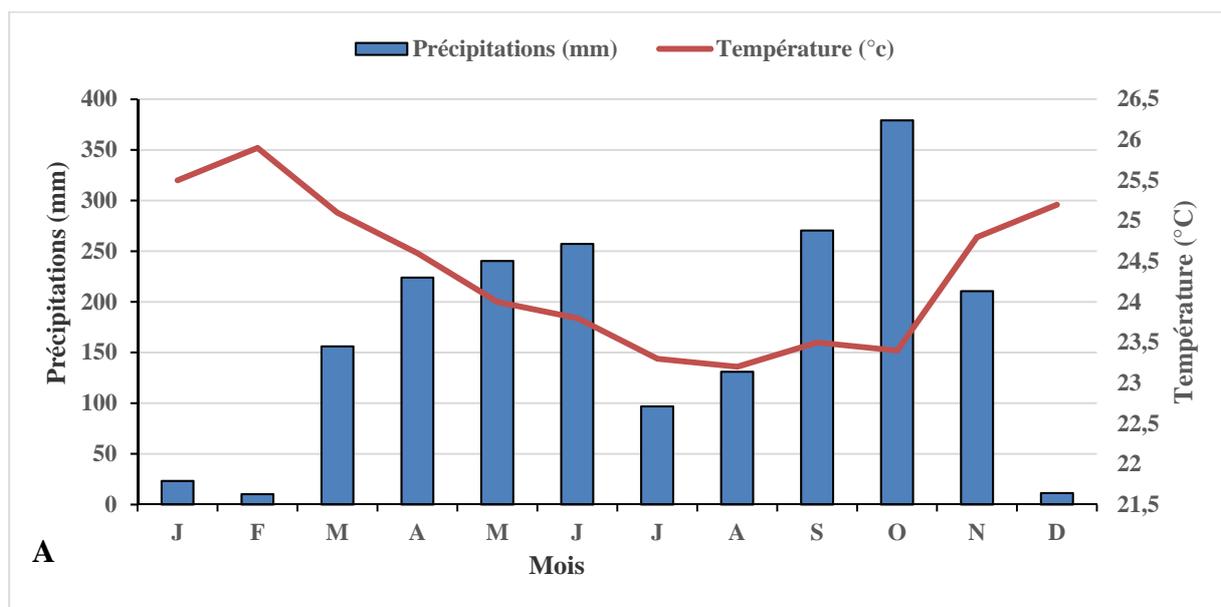
## II.1.2. Climat, sol et hydrographie

Le climat de Yaoundé est de type "Yaoundéen" (Suchel, 1987). Il est caractérisé par l'abondance de précipitations atteignant parfois 1576 mm/an et variables au cours des années (Pelletier, 1969). La température moyenne inter-annuelle est de  $24,2 \pm 2,6^{\circ}\text{C}$  (Suchel, 1987). Selon Olivry (1986), l'hygrométrie moyenne est de 80% et varie dans la journée entre 35 et 98%. Cette région présente en effet une grande saison sèche (décembre à février), une petite saison des pluies (mars à mai), une petite saison sèche (juin à août) et une grande saison des pluies (septembre à novembre). Zébazé Togouet (2008) relève qu'au cours des périodes 1996-1997 et 2005-2006, les mois de décembre, janvier, février et août ont été sub-arides alors qu'avril, septembre et octobre ont été les mois les plus pluvieux. Ces mêmes observations avaient déjà été faites par Sighomnou (2004) travaillant sur la variation climatique dans la région écologique de Yaoundé. Les variations ombrothermiques fournies par la station météorologique de Yaoundé Nsimalen pour la période d'étude (2012 et 2014) (fig 14) confirment le glissement du découpage saisonnier qui avait déjà été observé par Zébazé Togouet (2008). Cependant, contrairement aux observations de cet auteur, le glissement du découpage saisonnier que présente la figure 14 (A et B) tend à éteindre la petite saison sèche c'est-à-dire à jumeler et à prolonger les deux saisons de pluies. En effet, les mois de juillet et août ont enregistré plus de 96 mm de pluies ; ce qui n'était pas le cas en 2008. Cette distribution pluviométrique s'écarte donc légèrement de celle observée par Suchel (1987). Il convient de signaler qu'il y a eu plus de pluie en 2014 qu'en 2012 (2173,5 et 2010,3 mm respectivement) alors que le réchauffement de l'air a fait l'inverse (en moyenne  $24,5$  et  $24,3^{\circ}\text{C}$  respectivement).

Selon Onguene Mala (1993), les sols de cette région sont de deux types :

- les sols ferrallitiques rouges issus des formations géologiques appartenant au socle ancien, dont le faciès dominant est un gneiss granifère à deux micas ou biotite seule et dont la couleur s'altère vers le jaune au fur et à mesure qu'on s'éloigne des sommets ;
- les sols hydromorphes dans les vallées, formés de dépôts de déchets et d'alluvions.

Le pH de ces sols est fortement acide 4,5 à 5,5 dans les couches superficielles. Le bassin versant de la Mefou est constitué de plusieurs cours d'eau dont Angaa (affluent de la rivière Mefou) qui arrose la partie Sud-Est de l'arrondissement de Yaoundé 4.



**Figure 14** : Variations mensuelles de la température et de la pluviométrie pendant la période d'étude (A= en 2012 et B= en 2014). *Source : Station météorologique de Yaoundé/ Nsimalen, 2015.*

### II.1.3. Présentation du site d'étude

En fonction de la qualité de gestion (empoisonnement, fertilisation et suivi pendant le cycle d'élevage) des plans d'eau, de la disponibilité du pisciculteur et pour une homogénéité environnementale, une ferme piscicole privée parmi les 9 visitées a été retenue pour l'étude. Cette ferme « pilote » appartient à un groupe de jeunes organisés en G.I.C. dénommé GIC agro-éleveur d'Ekoumdoum. Elle est localisée au quartier Ekoumdoum. Il y est pratiqué une

agriculture intégrée à la pisciculture et à l'élevage des porcs. Cette ferme présente cinq plans d'eau, ayant chacun une typologie particulière. Quatre plans d'eau sont pris en compte dans cette étude et sont dénommés E1, E2, E3 et ET. Les étangs E1, E2 et E3 dénommés étangs-paysans sont entretenus par le responsable du G.I.C. qui parfois fait appel à la main d'œuvre familiale (sa femme, sa belle-sœur et ses deux enfants). N'ayant aucune formation sur les plans agro-pastorale et piscole, les autres membres du G.I.C. sont simplement des financiers, pour cela, ce pisciculteur s'occupe aussi des différentes cultures agricoles pratiquées sur le site et de l'élevage des porcs. Son activité principale est la garderie de véhicules qu'il pratique à son domicile situé à environ 5 km au sommet de la colline au pied de laquelle se trouve la vallée marécageuse qui loge les étangs, les champs et les porcheries. L'étang ET par contre représente l'étang expérimental ou étang témoin créé sur le même site dans le cadre de ce travail et dont l'entretien est basé sur l'écologie et la biologie des hydrosystèmes.

#### **II.1.4. Description des plans d'eau**

L'étang E1 (Fig.15 A), de forme trapézoïdale, a une superficie de 400 m<sup>2</sup>. Trois compostières intra-étang construites au niveau des angles hors mis le moine, communiquent directement avec l'eau de l'étang. La fertilisation organique a été faite à base de l'herbe à éléphant *Pennisetum purpureum* complétée de lisier de porc. L'étang E2 (Fig.15 B), rectangulaire et de superficie 375 m<sup>2</sup>, dispose d'une porcherie construite sur pilotis et contenant quatre porcs d'environ 60 kg chacun. L'étang E3 (Fig.15 C) est rectangulaire de superficie 450 m<sup>2</sup> et présente trois compostières intra-étang construites aux angles du plan d'eau horsmis le moine. Il a été fertilisé à base des fientes de « poulets de chair ». Chacun de ces plans d'eau a une profondeur moyenne de 70 cm. Chacun de ces plans d'eau a reçu les alevins dans la proportion de 2 *Clarias gariepinus* et 2 *Oreochromis niloticus* par m<sup>2</sup>. Le paysan a assuré le contrôle de routine suivi d'intervention en cas de problème selon les possibilités matérielle et temporelle qui lui ont été offertes.

L'étang ET (Fig.15 D), est rectangulaire, de profondeur 80 cm au niveau du moine, de superficie 100 m<sup>2</sup>. Il est entouré d'une clôture le protégeant contre les animaux indésirables et dispose d'une porcherie construite sur pilotis contenant un porc d'environ 80 kg. Le lit du plan d'eau présente une pente d'environ 1% et contre la berge portant le tuyau d'alimentation est aménagé un bassin de stockage d'eau, la berge parallèle à celle-ci disposant les canaux d'évacuation et du trop plein. Ce plan d'eau a reçu 1 *O. niloticus* et 2 *C. gariepinus* par m<sup>2</sup>. Le pisciculteur a assuré permanemment un contrôle de routine (contrôle de la transparence, de la dureté, du comportement des poissons très tôt le matin, de l'état des berges, des canaux

d'alimentation en eau et du trop plein, de la profondeur de l'eau) suivi d'une intervention rapide et rigoureuse en cas de problème.

Les berges des étangs E1, E2 et E3 ont été la plupart du temps couvertes de macrophytes avec l'espèce *Pennisetum purpureum* dominante alors que *Pistia stratiotes* suivi de *Pennisetum purpureum* dominant sur les berges de l'étang ET.



**Figure 15** : Vues partielles des étangs étudiés (A = Etang E1 ; B = Etang E2 ; C = Etang E3 ; D = Etang ET).

### II.1.5. Gestion des plans d'eau au cours du cycle d'élevage

Pour chaque plan d'eau, le chaulage a été effectué avant la mise en eau, la fertilisation organique a été soutenue par la fertilisation minérale lors du fumage de base et ensuite pendant la période de démarrage (les 3 premiers mois) quand cela était nécessaire. Les tilapias (*Oreochromis niloticus*) ont été introduits un mois avant le silure (*Clarias gariepinus*). Le cycle d'élevage a duré 9 mois quel que soit le plan d'eau (de mi-mars à mi-décembre). Aussi un programme prévisionnel de suivi et de l'entretien des plans d'eau (Tableau V) a été établi par le paysan pour la durée de l'élevage

**Tableau V** : Programme prévisionnel de Gestion des étangs

Date	E1 (400 m <sup>2</sup> )	E2 (375 m <sup>2</sup> )	E3 (450 m <sup>2</sup> )
28/02/12	CHAULAGE 1t/ha		
	40 kg de chaux	37,5 kg de chaux	45 kg de chaux
10/03/12	Mise en eau des étangs (jusqu'à atteindre 70 cm de profondeur)		
15/03/12	FUMAGE DE BASE (50 kg en poids frais de lisier ou fiente/100 m <sup>2</sup> , 1 kg de superphosphate/100 m <sup>2</sup> et 2 kg d'urée/100 m <sup>2</sup> )		
	4 kg superphosphates 8 kg d'urée 200 kg de lisier de porc frais	3,75 kg superphosphates 7,5 kg d'urée 187,5 kg de lisier de porc	4,5 kg superphosphates 9 kg d'urée 225 kg de fiente de poule
19/03/12	EMPOISSONNEMENT (1) Tilapia à raison de 2 ind./ m <sup>2</sup>		
	800 alevins (5 g)	750 alevins (5 g)	900 alevins (5 g)
<b>A partir du 25/03/12 fumage continue</b>	150 kg de <i>Pennisetum purpureum</i> répartis dans les compostières toutes les deux semaines	4 porcs sur pilotis nourris selon les normes zootechniques (10 L de drèche de brasserie x 2/jour et déchet de fruits lorsque possible)	20 kg de fiente /jour ou 150 kg de fiente par semaine à verser dans les compostières
19/04/12	EMPOISSONNEMENT (2) Silures à raison de 2 ind./m <sup>2</sup>		
	800 alevins (~20 g)	750 alevins (~20 g)	900 alevins (~20 g)
<p>N.B. -Contrôle de la transparence chaque matin : Si Secchi &lt; 15cm alors arrêt de toute fertilisation par contre, si Secchi &gt; 30 cm, pratiquer la fertilisation minérale en plus de la fertilisation organique.</p> <p>-Observation du comportement des poissons très tôt le matin ; si les poissons pratiquent le « pipage » matinal, alors arrêt de la fertilisation organique et accroissement de la photosynthèse en pratiquant soit la fertilisation minérale 5 g de superphosphate / m<sup>2</sup> et 10g d'urée / m<sup>2</sup>, soit le renouvellement de l'eau pour accroître l'oxygénation du milieu.</p>			

Au regard du tableau V, la feuille de route du paysan prévoit le chaulage avant la mise en eau, la fertilisation de base, la mise en charge des silures un mois après celle des tilapias et la fertilisation continue en respectant les périodes et les quantités indiquées par le tableau. Ce programme prévoit aussi un contrôle journalier de la profondeur de pénétration des rayons lumineux dans l'eau des étangs et le comportement des poissons mis en charge ; accompagné d'interventions en cas de besoin.

## **II.2. Matériel**

Le matériel est constitué d'une part de poisson et de l'eau de l'étang et d'autre part du système d'appareillage utilisé au laboratoire pour les analyses.

En ce qui concerne le système d'appareillage, il s'agit de :

- un thermomètre à mercure pour l'évaluation de la température de l'eau ;
- un disque de Secchi servant à mesurer la transparence de l'eau ;
- un pHmètre portatif permettant d'évaluer le pH de l'eau ;
- un conductimètre portatif servant à l'évaluation de la conductivité électrique de l'eau ;
- un oxymètre pour évaluer l'oxygène dissous de l'eau ;
- un dispositif de filtration permettant d'évaluer la dureté calcique, l'alcalinité totale et l'oxydabilité de l'eau ;
- un spectrophotomètre pour évaluer les MES, la couleur, la turbidité, les orthophosphates, l'azote ammoniacal, les nitrates, les nitrites de l'eau et la chlorophylle *a* du phytoplancton ;
- un dispositif de filtration sous vide pour filtrer les échantillons d'eau destinés à l'analyse de la chlorophylle *a* ;
- une loupe binoculaire pour identifier et dénombrer les organismes zooplanctoniques ;
- un microscope à oculaire gradué pour les mensurations des organismes zooplanctoniques ;
- une balance pour évaluer le poids du poisson ;
- un mètre ruban pour évaluer la taille du poisson ;
- une paire de ciseaux et une paire de pinces pour extraire le tube digestif du poisson.

## **II.3. Méthodes**

### **II.3.1. Stations et période d'échantillonnage**

Les quatre plans d'eau ayant moins de 500 m<sup>2</sup> de superficie, l'échantillonnage a été fait à une seule station dans chaque étang (au niveau du moine) pour la physicochimie. Les prélèvements ont été réalisés à 20 cm de profondeur pour tous les paramètres de la physicochimie et du plancton.

L'échantillonnage a été effectué pour chaque plan d'eau, de la mise en eau à la pêche qui correspond à la période de grossissement des poissons ou cycle complet d'élevage. Les prélèvements ont été faits à une fréquence hebdomadaire les trois premiers mois d'élevage

(période correspondant à la phase de démarrage) et mensuelle (Besnard et Salles, 2010) le reste de temps (période correspondant à la suite du cycle d'élevage). En effet, la période correspondant à la phase de démarrage s'est étalé de mi-mars à mi-juin quel que soit le plan d'eau. Le mois de mars a donc été échantillonné deux fois et celui de juin trois fois ; ce qui a déporté la phase de démarrage à 14 semaines au total. Il est important de signaler que pour les mois de mars à juin, les données ont été représentées en moyennes mensuelles puis les détails ont été donnés par semaine.

Dans l'ensemble, l'échantillonnage s'est déroulé de mars à novembre 2012 pour les étangs-paysans (E1, E2 et E3) et de mars à novembre 2014 pour l'étang expérimental (ET) ; ce qui revient à 19 sorties soit 57 prélèvements lors de la première campagne et 19 sorties soit 19 prélèvements lors de la deuxième campagne. Pour toute la durée du travail, les mois de mars à novembre ont été respectivement codés par M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 et M9, les semaines d'échantillonnage à la phase de démarrage étant codées par « S ».

## **II.3.2. Evaluation de la physico-chimie et de la teneur en chlorophylle *a* de l'eau de l'étang**

### **II.3.2.1. Echantillonnage de l'eau de l'étang**

Les prélèvements destinés au dosage des variables physico-chimiques et la chlorophylle *a* ont été faits à l'aide d'un seau de 5 litres, dans la couche d'eau de la surface à 20 cm de profondeur au niveau du moine. Les échantillons de 1000 cc et 500 cc d'eau ont été ainsi conservés dans des flacons en polyéthylène respectivement pour la physico-chimie et la chlorophylle *a* puis transportés au laboratoire.

### **II.3.2.2. Analyse physico-chimique de l'eau de l'étang**

Les variables physico-chimiques prises en compte dans cette étude sont celles qui influencent directement le développement des poissons cultivés ou celles qui impactent directement sur le réseau trophique de l'étang. Elles ont été évaluées à l'aide des méthodes classiques d'analyses décrites par Rodier *et al.* (2009).

#### **II.3.2.2.1. Variables physiques de l'eau**

##### **II.3.2.2.1.1. Température**

La température a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10<sup>e</sup> de degré que l'on plonge dans l'eau. Les résultats ont été exprimés en degré Celsius (°C).

### **II.3.2.2.1.2. Transparence**

La transparence a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de 30 cm de diamètre lesté, et muni d'une corde graduée. Les résultats ont été exprimés en cm.

### **II.3.2.2.1.3. Matières En Suspension (MES)**

Les Matières En Suspension (MES) ont été déterminées par spectrophotométrie. Il a été question de prendre 25 ml de l'échantillon dans une cellule spectrophotométrique, d'agiter et de lire au spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 à la longueur d'onde 810 nm, le résultat obtenu étant exprimé en mg/L.

### **II.3.2.2.1.4. Couleur de l'eau**

La couleur de l'eau a été déterminée par la méthode spectrophotométrique. Sa valeur est lue à l'aide d'un spectrophotomètre HACH DR/2000 à la longueur d'onde 455 nm. Le résultat a été exprimé en unité Platinium Cobalt (Pt/Co).

### **II.3.2.2.1.5. Turbidité**

Les valeurs de la turbidité ont été obtenues par spectrophotométrie. La lecture est faite au spectrophotomètre de marque HACH DR / 2000 à la longueur d'onde de 450 nm. Le résultat a été exprimé en FTU (Formazine Turbidity Unit).

## **II.3.2.2.2. Variables chimiques de l'eau**

### **II.3.2.2.2.1. pH**

Un pHmètre portatif de marque SCHOTT Geräte GmbH CG818 (Germany) a été utilisé pour la mesure du pH *in situ*. Après lecture directe, le résultat a été exprimé en unité conventionnelle (U.C.) avec une précision de 1/10<sup>e</sup>.

### **II.3.2.2.2.2. Conductivité électrique**

La conductivité électrique a été évaluée *in situ* à l'aide d'un TDS / conductimètre portatif HACH. Après lecture directe, les résultats ont été exprimés en µS/cm avec une précision de 1%.

### **II.3.2.2.2.3. Oxygène dissous**

Les teneurs en oxygène dissous ont été évaluées *in situ* à l'aide d'un oxymètre de marque OXY 380. Les résultats ont été exprimés en mg / L.

#### **II.3.2.2.2.4. Dureté calcique**

La dureté calcique a été évaluée par complexométrie selon la norme AFNOR NFT 90-003 au moyen de l'idranal III à 1%. Il s'est agi de prendre 50 cc d'échantillon dans un Erlen Meyer, d'y ajouter 1 cc de cyanure de potassium (KCN), 2 cc de Na OH 2 N et 1 à 2 cristaux d'acide 2-Hydroxy-1-(2-Hydroxy-4-Sulfo-1-Naptil-azo-3)-Naphtoiue (H-H-S-N-N). La solution de coloration violette obtenue, une fois dosée à l'idranal III vire au bleu franc. Le résultat exprimé en mg/L de CaCO<sub>3</sub> a été calculé comme suit :

$$\text{Ca CO}_3 \text{ (mg/L)} = \text{descente de burette} \times 20.$$

#### **II.3.2.2.2.5. Orthophosphates**

Le dosage des orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) a été fait par spectrophotométrie, le réactif utilisé est le phosver III qui colore la solution en bleue. En effet, il s'agissait d'introduire une gélule de phosver III dans 25 cc d'eau de l'échantillon contenu dans la cellule spectrophotométrique, et de lire 15 minutes plus tard au spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 à la longueur d'onde 690 nm. Le résultat a été donné en mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

#### **II.3.2.2.2.6. Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

L'azote ammoniacal a été mesuré par spectrophotométrie. En effet 25 cc de l'échantillon ont été mesurés dans une cellule spectrophotométrique dans laquelle on y ajoute 1 mL de sel de rochelle et 1 mL de réactif de Nessler. Le résultat exprimé en mg.L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a été lu à la longueur d'onde de 425 nm au spectrophotomètre HACH DR/2000.

#### **II.3.2.2.2.7. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les teneurs en nitrate ont été déterminées par spectrophotométrie. Il s'est agi d'ajouter à 25 cc de l'échantillon contenu dans une cellule spectrophotométrique, une gélule de Nitriver V. Le résultat, lu à la longueur d'onde 570 nm au spectrophotomètre HACH DR/2000 a été exprimé en mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### **II.3.2.2.2.8. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

Les teneurs en nitrite ont été évaluées par spectrophotométrie. Il s'agissait de prendre 25 cc d'échantillon dans une cellule spectrophotométrique, introduire une gélule de Nitriver II. Le résultat exprimé en mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a été lu à la longueur d'onde 570 nm au spectrophotomètre HACH DR/2000.

### II.3.2.2.2.9. Oxydabilité

Au laboratoire, un volume de 200 mL de l'échantillon auquel on ajoute 2 mL de carbonate monosodique a été porté à ébullition sur une plaque électrique. Ensuite, 20 ml de permanganate de potassium y ont été ajoutés. Après refroidissement, y ajouter 5 ml d'acide sulfurique 25% et 20 ml de sel de Mohr. La solution ainsi constituée a été titrée avec du permanganate de potassium N/80. Les résultats exprimés en mg/L de O<sub>2</sub> ont été calculés par la formule : Oxydabilité = ((Q-Q<sub>0</sub>)/2) x 3,95.

### II.3.2.2.2.10. Alcalinité totale

Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) a été déterminé par volumétrie. En effet 50 cc d'échantillon mesurés dans un bécher ont été mélangés à quelques gouttes de vert de méthyl bromocrésol qui ont fait virer l'échantillon au vert. La titration a été faite à l'aide d'une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N /50. La fin du dosage étant marquée par le virage de la solution au gris, le résultat obtenu dans les conditions de ce dosage a été exprimé en mg/L de CaCO<sub>3</sub> grâce à la formule : Alcalinité totale = descente de burette x 20.

### II.3.2.3. Analyse de la chlorophylle a

Au laboratoire, un volume d'échantillon de 100 mL a été filtré à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide, muni d'une membrane en fibre de verre de type Whatmann GF/C de 0,45 µm de porosité. La membrane a ensuite été introduite dans un tube à essai contenant 10 mL d'un mélange d'acétone pur 90 % et de solution saturée de carbonate de magnésium 10 %. L'extraction des pigments a été faite au réfrigérateur à l'obscurité pendant 24 heures (Lemasson *et al.*, 1981). Chaque tube à essai, débarrassé de la membrane filtrante, a été centrifugé à 400 tr/min pendant 15 minutes et la densité optique du surnageant a été lue au spectrophotomètre HACH DR/2000 aux longueurs d'ondes 630, 645, 663 nm (Anonyme, 1985). Le témoin a été réalisé dans les mêmes conditions que l'échantillon, mais en filtrant de l'eau distillée. Les teneurs en chlorophylle a ont été calculées à l'aide de l'équation (Anonyme, 1985) :

$$chl a = \frac{[(11,64 \times DO_{663}) - (2,16 \times DO_{645}) - (0,10 \times DO_{630})] \times v}{V \times l}$$

Avec, - DO = Densité optique,

- v = Volume de l'extrait acétonique en mL,

- l = Longueur du trajet optique en cm,

- V = Volume de l'échantillon filtré en mL,

- chl a = chlorophylle a (exprimée en mg/L).

### **II.3.3. Etude du zooplancton**

#### **II.3.3.1. Echantillonnage du zooplancton**

Quant au zooplancton, les échantillons sont collectés par filtration. En effet, dans chaque plan d'eau, 50 litres d'eau sont prélevés dans la couche d'eau entre la surface et 20 cm de profondeur, aléatoirement à dix endroits différents dans le plan d'eau et passés à travers un tamis de 64 µm d'ouverture de maille. Les organismes ainsi collectés et conservés dans 100 cc d'eau du milieu sont répartis équitablement dans deux flacons dont l'un a reçu 2,5 mL de solution de formol constituant ainsi l'échantillon fixé et l'autre non fixé servant à l'observation des organismes sur le vivant.

#### **II.3.3.2. Analyse du zooplancton**

##### **II.3.3.2.1. Analyse qualitative**

Les échantillons destinés à l'étude de la microfaune ont été immédiatement observés à la loupe binoculaire WILD M5 et au microscope Olympus CK2 UL WCD 0.30 pour l'identification des espèces zooplanctoniques présentes. Les échantillons formolés ont été conservés au laboratoire puis utilisés pour confirmer l'identification et effectuer les comptages et la mesure de la biomasse. Ces identifications ont été effectuées à l'aide des ouvrages et des clés d'identification spécialisés. Ainsi,

- Pour les rotifères, les organismes ont été identifiés à la loupe binoculaire grâce aux ouvrages et clés d'identification de Pourriot (1980), Pourriot & Francez (1986), Shiel (1995), Zébazé Togouet (2000) et Fernando (2002) ;

- L'identification des copépodes a été basée sur la forme du corps (fusiforme), les particularités des antennes et des antennules, et parfois des ornements. Elle a été effectuée sous la loupe binoculaire à l'aide des ouvrages et clés d'identification de Dussart (1980), Dussart & Defaye (1995), Zébazé Togouet (2000), Fernando (2002) et Glime (2017);

- Pour les cladocères, l'examen détaillé des appendices, du post abdomen et de la forme du corps est conduit sous la loupe binoculaire à l'aide des minuties montées et des ouvrages et clés d'identification de Rey & Saint Jean (1980), Amoros (1984), Zébazé Togouet (2000), et Fernando (2002) et Glime 2017.

### II.3.3.2.2. Analyse quantitative

#### II.3.3.2.2.1. Dénombrement

L'étude quantitative du zooplancton a été faite à l'aide des échantillons non fixés pour les organismes qui ne supportent pas l'action du formol. En effet après homogénéisation, 10 cc d'échantillon ont été prélevés grâce à la pipette étalonnée et introduits dans une boîte de Pétri. L'observation de cette préparation à la loupe binoculaire a permis d'identifier et de dénombrer ces organismes. Ils ont été successivement retirés de la partie aliquote et l'opération a été réalisée en duplicat.

Concernant les organismes qui ne sont pas déformés par le formol ; les échantillons fixés ont été utilisés pour les dénombrements. En effet, les comptages ont été effectués selon la technique de Legendre & Watt (1972) en duplicat dans les boîtes de Pétri de 30 mm de diamètre quadrillées en petits carrés de 3 mm de côté. Puisque, Frontier (1972 et 1973) montre que pour le dénombrement de 50 individus, l'erreur est de 40%, pour 100 individus, elle est de 31% et seulement de 25% pour 200. Il conclut donc que compter 100 individus suffirait par échantillon. Ainsi, au cours du dénombrement, au moins 100 individus ont été comptés chaque fois. Les abondances obtenues ont été ramenées au litre selon la formule ci-dessous.

$$D = \frac{v}{v' \cdot V} \times n \quad \text{exprimée en ind. /L}$$

avec : v= volume total du sous échantillon ; v'=volume de la fraction du sous échantillon versée dans le boîte de Pétri pour le comptage ; V= volume d'eau filtrée sur le terrain ; n= nombre d'individus contenu dans v'

#### II.3.3.2.2.2. Estimation des biomasses

Les biomasses peuvent être estimées de façon indirecte par la méthode des biovolumes (Sime-Ngando *et al.*, 1990 ; Dumont, 1994). Pour cela, chaque espèce a été assimilée en une forme grossièrement géométrique et les mensurations ont été effectuées sur 30 organismes à l'aide du microscope de marque Olympus CK2 UL WCD 0.30 à oculaires gradués. Les biovolumes moyens obtenus à partir de ces mensurations ont été multipliés par l'abondance de chaque espèce et convertis en biomasse en respectant la relation de Dumont *et al.* (1975) c'est-à-dire :

$$10^6 \mu\text{m}^3\text{L}^{-1} = 1 \mu\text{g C. L}^{-1} \quad \text{pour les Cladocères, Rotifères et Copépodes.}$$

### II.3.3.3. Structure du peuplement zooplanctonique

Il s'agit de caractériser la composition et l'évolution dans le temps et dans l'espace du peuplement zooplanctonique présent dans les plans d'eau étudiés. Ainsi, nous nous sommes servis de plusieurs indices biologiques dont les indices de diversité et de similarité.

#### II.3.3.3.1. Indice de diversité

L'indice de diversité choisi est celui de Shannon et Weaver (1949) car il rend compte de la diversité des espèces qui composent les peuplements dans un milieu. Il établit le lien entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus d'un même écosystème ou d'une même communauté. Selon Barbault (1990), sa formule est la suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad \text{avec}$$

$n_i$  = effectif de l'espèce de rang  $i$ ,

$H'$  = diversité de Shannon et Weaver exprimé en bit par individus,

$N$  = nombre total d'individus de l'échantillon,

$s$  = nombre d'espèces ou richesse spécifique.

L'indice de Shannon et de Weaver ainsi calculé est accompagné par l'Équitabilité de Pielou ( $J$ ) qui permet de mesurer l'équirépartition des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces. Il s'obtient par la formule :

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

Avec  $H'$  = indice de Shannon et de Weaver

$S$  = nombre d'espèces présentes

L'indice  $J$  varie de 0 (dominance d'une seule espèce) à 1 (équirépartition des individus dans les peuplements).

#### II.3.3.3.2. Indice de similarité de Sørensen

Le coefficient de similarité de Sørensen est utilisé pour comparer les différents plans d'eau du point de vue biologique.

$$S = \frac{2c}{a + b} \times 100, \text{ avec}$$

S = coefficient de similarité de Sørensen

a = nombre d'espèces dans l'échantillon 1

b = nombre d'espèces dans l'échantillon 2

c = nombre d'espèces communes aux 2 échantillons comparés

Une forte valeur de S traduit une plus grande ressemblance spécifique entre les milieux comparés.

## **II.3.4. Etude de l'ichtyofaune**

### **II.3.4.1. Echantillonnage des poissons**

A la fin de la phase de démarrage, à l'aide de la senne et des épuisettes, une trentaine de poissons pour chaque espèce ont été capturés (Fig. 16 A). Grâce au mètre ruban et à la balance de cuisine de marque YIFA, des mensurations (longueur standard du corps, largeur du corps et poids ; la hauteur du corps n'ayant pas été pris en compte dans ce travail) ont été effectuées (Fig. 17 C).

Exclusivement dans l'étang témoin, le contenu stomacal du tilapia *Oreochromis niloticus* a été prélevé grâce aux outils spécifiques chez 15 juveniles de taille inférieure à 30 g et 15 poissons de taille supérieure à 30 g. Après avoir capturé un poisson ou un juvénile vivant (Fig. 16 D), la partie supérieure de son tube digestif (de l'œsophage à l'estomac) est directement prélevée et fendue à l'aide des outils de la trousse à dissection (sciseaux et pinces). Le fragment d'organe ainsi prélevé est introduit dans une solution de 50 mL (49 mL d'eau minérale + 1 mL de formol commercial) préparée à cet effet.

Au terme du cycle d'élevage, la récolte totale a été faite et les poissons à la taille marchande (au moins 200 g) ont été pesés à l'aide d'une balance Roberval avant leur acheminement au marché (Fig. 16 B).



**Figure 16** : Echantillonnage des poissons : Pêche de contrôle (A), récolte totale (B), mensuration (C) et extraction du contenu stomacal des poissons (D).

#### II.3.4.2. Analyse des poissons cultivés

Rendu au troisième mois d'élevage des silures et quatrième mois d'élevage du tilapia, une évaluation à mi-parcours a été faite. Le poids et la taille des poissons ont été évalués sur le terrain selon la technique précédemment présentée et la croissance spécifique des poissons a été calculée. Au laboratoire, le contenu stomacal a été observé sous une loupe binoculaire. Les microorganismes présents ont été ainsi identifiés et dénombrés dans la mesure du possible.

Le nombre et la taille des poissons obtenus au terme de l'élevage ont été exploités pour évaluer les performances d'élevage et agro-économiques (rendement piscicole) de chaque étang. Concernant les performances d'élevage, la croissance spécifique ( $C_s$ ), le gain de biomasse (GB) et le taux de survie (S) sont calculés selon les formules ci-contre (Tiogue *et al.*, 2014 ; Efole Ewoukem *et al.*, 2016 ; Thabet Rabed, 2017) :

$$Cs (g/j) = \frac{Pm_f - Pm_i}{D}$$

$$GB (g) = [(Pm_f \times N_f) - Pm_i N_i]$$

+ Poids des poissons de taille non marchande si ce sont les tilapia

$$S (\%) = \frac{N_f}{N_i} \times 100$$

Pm<sub>f</sub>: Poids moyen du poisson à la récolte

Pm<sub>i</sub>: Poids moyen des alevins à la mise en charge

N<sub>f</sub>: Nombre de poissons récoltés

N<sub>i</sub>: Nombre d'alevins à l'empoissonnement

D : Durée de l'élevage (en jours)

### **II.3.5. Influence de la physicochimie sur les autres variables**

#### **II.3.5.1. Corrélation de rang de SPEARMAN**

La corrélation de rang de Spearman a permis d'évaluer le niveau de dépendance entre les différentes variables dans un même écosystème. Ainsi, les corrélations ont été recherchées entre les variables physico- chimiques d'abord et ensuite entre les variables biologiques prises en groupes (Rotifères, Cladocères, Copépodes) et les paramètres physico-chimiques.

#### **II.3.5.2. Tests de comparaison**

Les tests de comparaison ont été utilisés pour mieux saisir l'impact d'une attention particulière aux étangs pendant la phase de démarrage sur le fonctionnement général de ces hydrosystèmes et partant, sur leur productivité. Pour cela, des comparaisons ont été réalisées entre les relevés physico-chimiques d'une part et les relevés faunistiques d'autre part, dans les écosystèmes pris deux à deux. Il convient de signaler que le test de normalité a permis de se servir d'une part de l'analyse des variances, (ANOVA) suivi du test de post Hoc Descheffe ou du test « t » de Student et d'autre part de l'analyse de Kruskal Wallis suivi du test de Mann Withney.

#### **II.3.5.3. Analyse en Composantes Principales (A.C.P.)**

L'A.C.P. est une méthode statistique exploratoire permettant d'établir les relations entre les individus et les variables étudiées. Elle diffère du test de corrélation du fait qu'elle prend en compte plus de deux variables à la fois pour une même espèce. En effet, elle nous a permis de vérifier l'existence de liens entre les variables étudiées. Tous ces tests ont été effectués à l'aide des logiciels SPSS 16. 0., Excel 2010 et XLSTAT 2007.

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

### **III.1. RESULTATS**

#### **III.1.1. Dynamique physico-chimique et chlorophylle *a* des eaux des étangs étudiés**

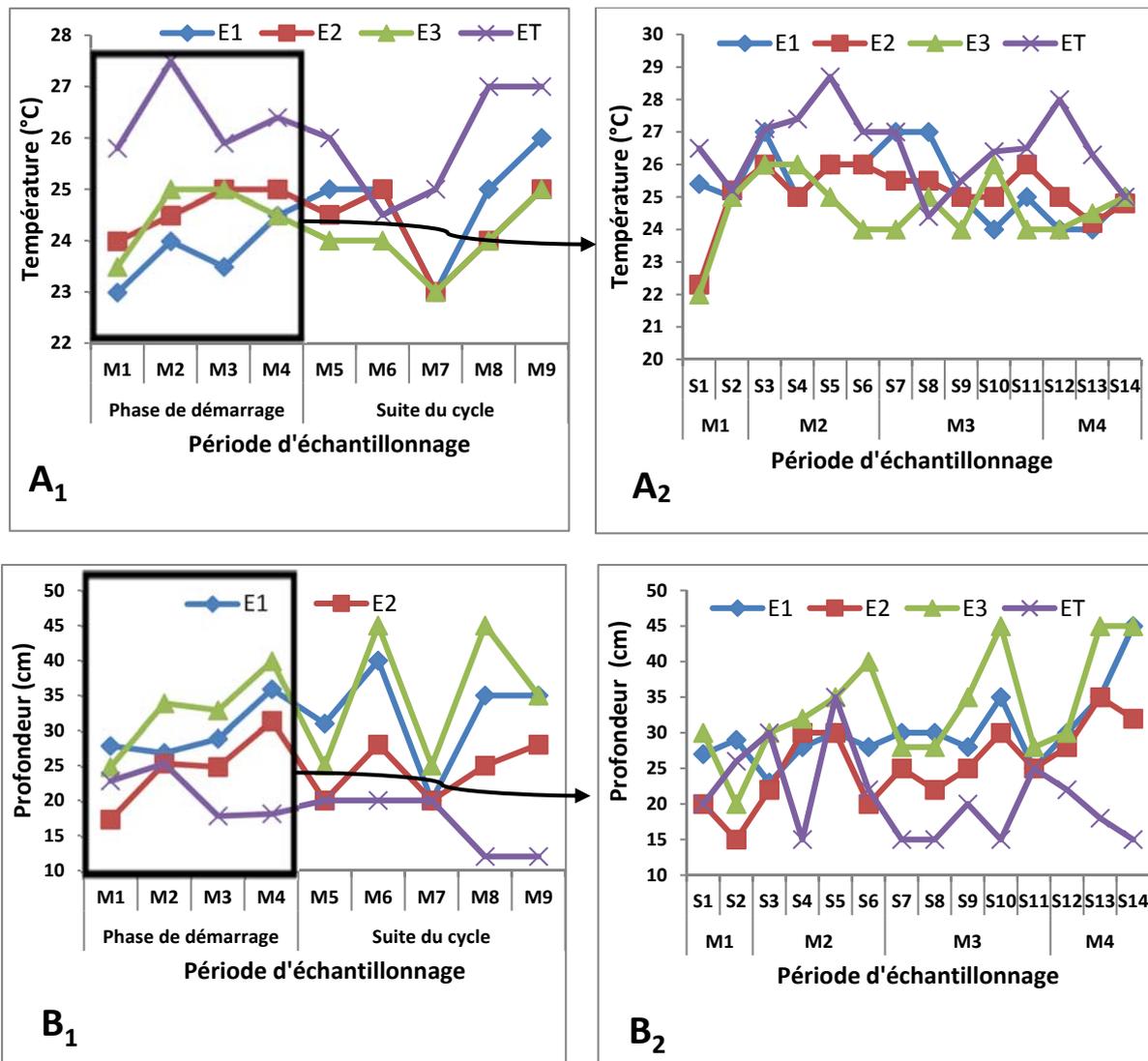
##### **III.1.1.1. Variables physiques**

###### **III.1.1.1.1. Température**

Les températures moyennes des eaux des étangs sont restées dans l'ensemble très stables (autour de 25°C) pendant la phase de démarrage et le cycle complet d'élevage. Dans l'étang 1 (E1), elle a oscillé entre 24°C et 27,1 °C pendant la phase de démarrage et entre 23°C et 26 °C pendant le cycle complet. Dans l'étang 2 (E2), elle a varié entre 22,3°C et 26,5 °C pendant la phase de démarrage et entre 23°C et 25 °C pendant le cycle complet. Dans l'étang 3 (E3), elle a oscillé entre 22°C et 26,4 °C pendant la phase de démarrage et entre 23°C et 25°C pendant le cycle complet. Dans l'étang témoin (ET), la température a oscillé entre 24,4°C et 28,7 °C pendant la phase de démarrage et entre 24,5°C et 27,5°C pendant le cycle complet (figure 17 A), ET étant le plan d'eau le plus chaud et E3 le plan d'eau le plus froid.

###### **III.1.1.1.2. Transparence**

La profondeur de disparition du disque de Secchi a varié significativement entre les différents étangs pendant les deux cycles d'élevage au cours de cette étude ( $P < 0,05$ ). Dans l'étang E1, la valeur enregistrée a fluctué entre 23 cm et 45 cm pendant la phase de démarrage et pendant le cycle complet, elle a varié entre 17,5 et 31,5 cm. Dans l'étang E2, pendant le cycle de démarrage, la profondeur a oscillé entre 15 et 35 cm, et pendant le cycle complet elle a oscillé entre 25 et 45 cm. Pendant le cycle de démarrage dans l'étang E3, la profondeur a varié entre 20 et 45 cm et entre 12 cm et 25,5 cm pendant le cycle complet. Dans l'étang témoin ET, la profondeur a varié entre 15 cm et 35 cm pendant le cycle de démarrage et de 12 cm à 25,5 cm au cours du cycle complet d'élevage (Fig. 17 B).



**Figure 17 :** Variation spatio-temporelle des variables physiques pendant le cycle complet (A1, B1) et détail de la phase de démarrage (A2, B2,) de la température (A) et de la profondeur de disparition du disque de Secchi (B).

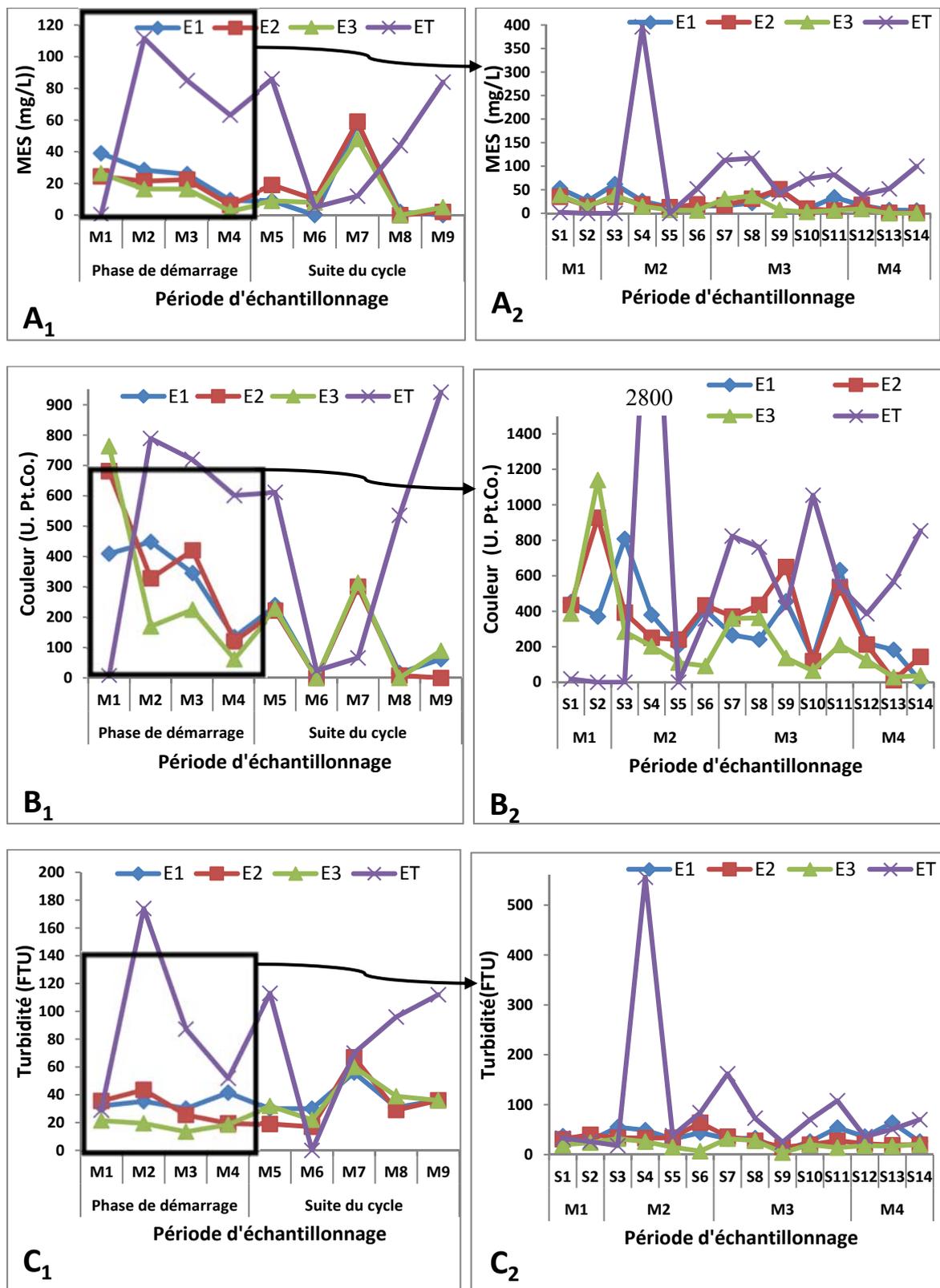
### III.1.1.1.3. Matières En Suspension (MES), Couleur et Turbidité

Les valeurs des MES ont dans l'ensemble peu varié dans certains étangs pendant les deux cycles d'élevages. Dans l'étang E1, la valeur moyenne de MES enregistrée a été de  $25,5 \pm 18,08$  mg/L pendant la phase de démarrage et  $19,32 \pm 20,27$  mg/L pendant le cycle complet. Dans l'étang E2, la valeur moyenne de MES a été respectivement de  $19,36 \pm 14,23$  mg/L et  $18,56 \pm 17,8$  mg/L obtenue pendant le cycle de démarrage et le cycle complet. Pendant le cycle de démarrage, la valeur minimale de MES dans l'étang E3 a été de 0 mg/L et la valeur maximale a été de 39 mg/L, et au cours du cycle complet elle a varié de 0 à 48 mg/L. Dans l'étang témoin ET, les MES ont varié de 0 à 396 mg/L pendant le cycle de démarrage et de 1 à 112 mg/L pendant le cycle complet. L'ensemble des valeurs des MES obtenues dans l'étang E3 et ET a

présenté des variations significatives ( $P < 0,05$ ) (figure 18 A) ET étant beaucoup plus riche en MES.

La valeur moyenne de la couleur obtenue dans l'étang E1 a été de  $340,6 \pm 207,8$  Pt.Co pendant la phase démarrage et de  $218,3 \pm 171,2$  Pt.Co au cours du cycle complet. Dans l'étang E2, les valeurs moyennes obtenues pendant les deux phases ont été respectivement de  $368,8 \pm 236,5$  Pt.Co et  $232 \pm 229,9$  Pt.Co. Quant à l'étang E3, les valeurs moyennes ont été respectivement de  $253,1 \pm 283,1$  Pt.Co et  $206,7 \pm 226,6$  Pt.Co. Dans l'étang témoin ET, la valeur moyenne pendant la phase de démarrage a été de  $613,3 \pm 720,2$  Pt.Co et  $477,9 \pm 354,1$  Pt.Co pendant le cycle complet (figure 18 B). Une très forte valeur de la couleur est observée dans ET à la quatrième semaine du démarrage (2800 Pt.Co). De même, des légers pics de couleur sont enregistrés dans l'étang E1 à la troisième semaine, dans les étangs E2 et E3 à la deuxième semaine et dans l'étang ET à la dixième semaine. Cependant, dans l'ensemble, les valeurs de la couleur enregistrée pendant les deux phases n'ont présenté aucune différence significative d'un étang à l'autre au cours de cette étude.

La turbidité dans l'étang E1 a oscillé entre 8 FTU et 64 FTU pendant la phase de démarrage, et entre 30 FTU et 56 FTU au cours du cycle complet. Dans l'étang E2, elle a varié pendant le cycle de démarrage entre 15 FTU et 64 FTU, et entre 17 FTU et 67 FTU pendant le cycle complet. Quant à l'étang E3, elle a oscillé entre 4 FTU et 32 FTU pendant la phase de démarrage et de 14 FTU à 60 FTU pendant le cycle complet. Dans l'étang témoin ET, la turbidité a varié 18 FTU à 556 FTU pendant la phase de démarrage et de 0 FTU à 174 FTU au cours du cycle complet (Fig. 18 C).



**Figure 18 :** Variation spatio-temporelle des variables physiques pendant le cycle complet (A1, B1, C1) et détail de la phase de démarrage (A2, B2, C2) des M.E.S. (A), de la couleur (B) et de la turbidité (C).

### III.1.1.2. Variables chimiques

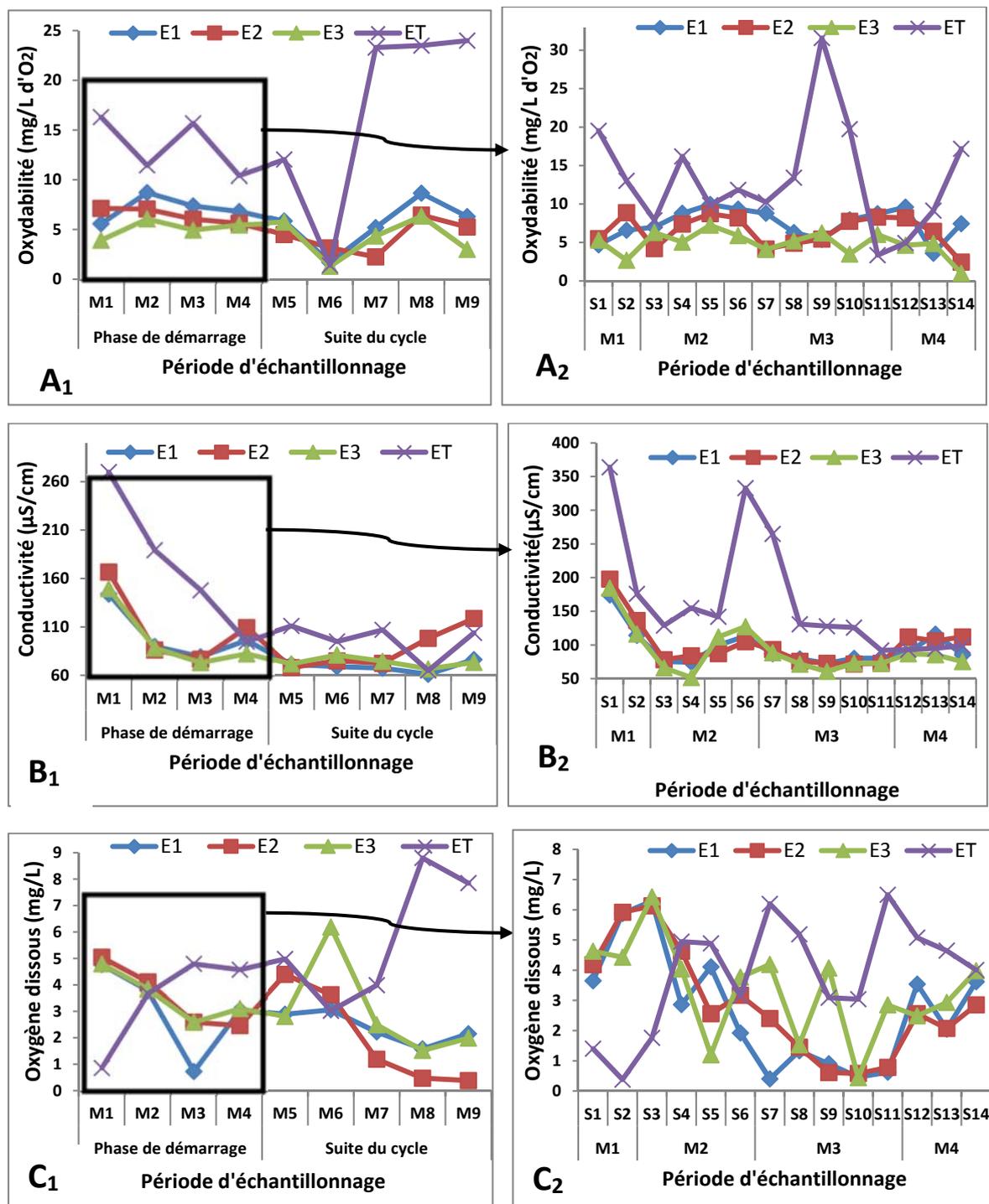
#### III.1.1.2.1. Oxydabilité, Conductivité électrique et Oxygène dissous

Les valeurs de l'oxydabilité ont peu varié dans les étangs paysans au cours de l'étude. Ici, les profils sont semblables et aucune valeur ne dépasse 10 mg/L. En effet les fortes valeurs de l'oxydabilité sont enregistrées dans l'étang E1 au deuxième mois d'élevage (8,7 mg/L) et notamment à la cinquième semaine (9,9mg/L) du démarrage ; dans l'étang E2 au premier mois (7,2 mg/L) et deuxième semaine du démarrage (8,8 mg/L) et dans l'étang E3 au huitième mois (6,3 mg/L) et à la cinquième semaine du démarrage (7,2 mg/L). Les faibles valeurs sont de 3,5 mg/L (S13) et 1,7 mg/L (M6) dans E1 ; 2,4 mg/L (S14) et 2,2mg/L (M7) dans E2, 1mg/L (S14) et 1,3 mg/L (M6) l'étang dans E3. Quant à l'étang ET, les valeurs de l'oxydabilité sont pour la plupart peu élevées et varient en dents de scie tout au long de la phase de démarrage, si l'on excepte la neuvième semaine où on observe la valeur la plus importante d'oxydabilité (31,6 mg/L) relevée au cours de l'étude. Au cycle complet, les valeurs évoluent en dents de scie du premier au cinquième mois, puis chutent de façon drastique au sixième mois (où la valeur la plus faible est relevée : 1,4 mg/L) et augmentent brutalement le mois suivant pour se stabiliser autour de 24 mg/L le reste de temps (Fig. 19 A).

Les profils de la conductivité électrique des étangs paysans suivent la même allure quelle que soit la phase. Par contre, le profil de l'étang ET dessine des dents de scie où les valeurs de la conductivité électrique restent très élevées (avec un pic observé à S1 de valeur 364  $\mu$ S/cm et un autre à S6 de valeur 333  $\mu$ S/cm) par rapport à celles des étangs paysans pendant la phase de démarrage, jusqu'à la semaine 11 où il chute (valeur : 92  $\mu$ S/cm) et s'enchevêtre aux profils des autres étangs pendant le reste de temps d'élevage. Toutefois, Pendant la phase de démarrage les valeurs minimales de conductivité électrique enregistrées ont été de 72,9  $\mu$ S/cm (S9) pour l'étang E1 ; 72  $\mu$ S/cm (S10) pour l'étang E2 ; 51,8  $\mu$ S/cm (S4) pour l'étang E3 et 92  $\mu$ S/cm (S11) pour l'étang ET; et les valeurs maximales de 174,5  $\mu$ S/cm pour l'étang E1 ; 197,9  $\mu$ S/cm pour l'étang E2 ; 181,7  $\mu$ S/cm pour l'étang E3 et 364  $\mu$ S/cm pour l'étang ET toutes obtenues à la semaine 1. Au cours du cycle complet, les valeurs moyennes ont été de  $84,1 \pm 25,3$   $\mu$ S/cm pour E1 ;  $97,1 \pm 31,5$   $\mu$ S/cm Pour l'étang E2 ;  $84,8 \pm 50,3$   $\mu$ S/cm pour l'étang E3 et  $131,7 \pm 62,9$   $\mu$ S/cm pour l'étang ET (Fig. 19 B).

L'oxygène dissous a très peu varié dans les différents plans d'eau au cours de l'étude. Dans l'étang E1, la valeur moyenne obtenue a été de  $2,6 \pm 1,9$  mg/L pendant la phase de démarrage et  $2,7 \pm 1,1$  mg/L au cours du cycle complet. Dans l'étang E2, les valeurs moyennes enregistrées ont été de  $2,8 \pm 1,8$  mg/L et  $2,7 \pm 1,7$  mg/L respectivement pendant le cycle de

démarrage et le cycle complet. A l'étang E3 la valeur moyenne enregistrée pendant le cycle de démarrage a été de  $3,3 \pm 1,5$  mg/L et de  $3,2 \pm 1,7$  mg/L au cours du cycle complet. Quant à l'étang témoin ET, les valeurs moyennes enregistrées au cours de cette étude ont été de  $3,8 \pm 1,8$  mg/L et  $4,7 \pm 2,3$  mg/L obtenues respectivement au cours du cycle de démarrage et du cycle complet d'élevage (figure 19 C).



**Figure 19 :** Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet (A1, B1, C1) et détail de la phase de démarrage (A2, B2, C2) de l'oxydabilité (A), de la conductivité électrique (B) et de l'oxygène (C).

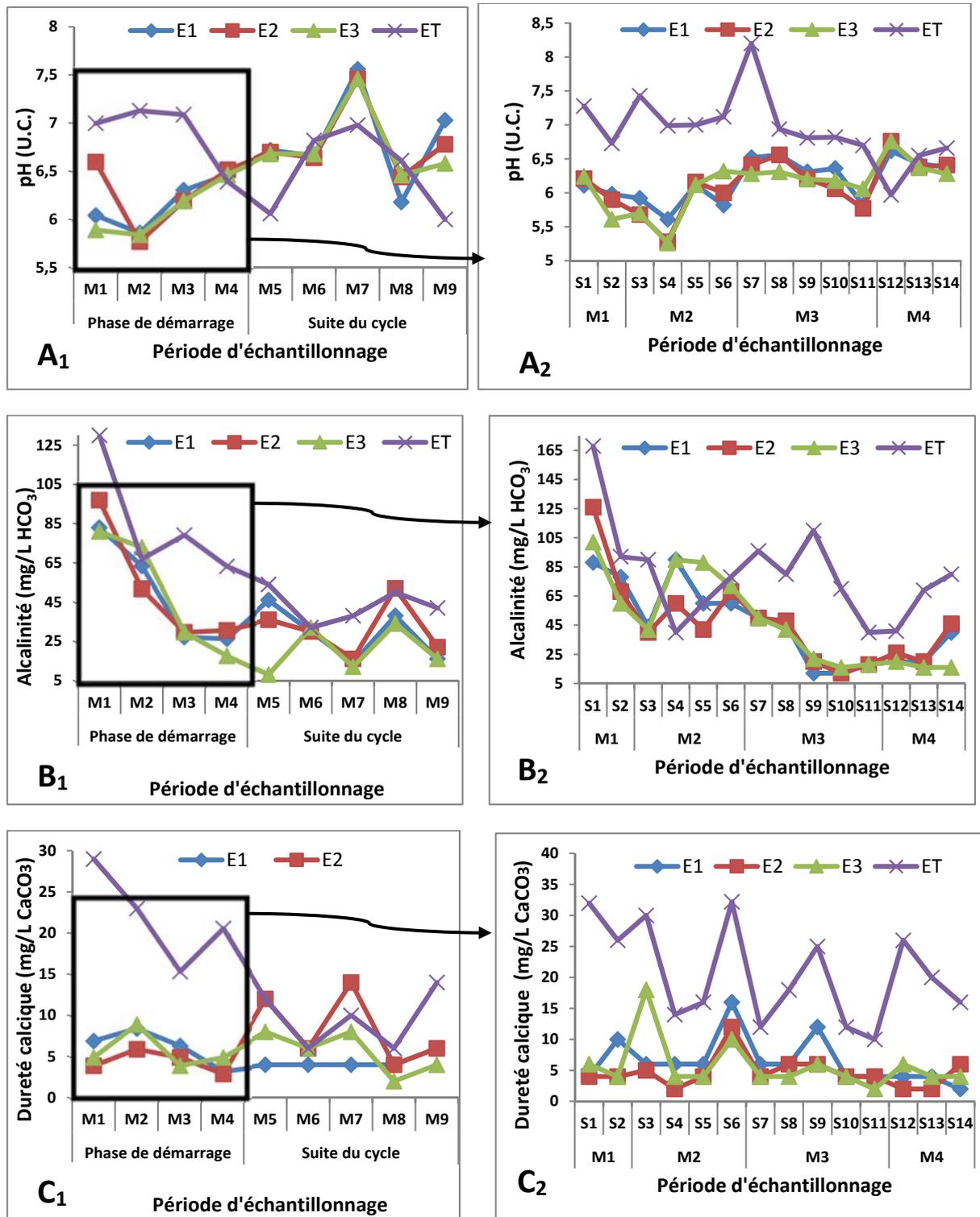
### III.1.1.2.2. pH, Alcalinité et Dureté calcique

Les profils de pH des eaux des étangs paysans suivent la même trajectoire quelle que soit la phase et présentent chacun un pic remarquable de 6,7 UC à la semaine 7. Par contre, le profil de l'ET est en dents de scie où les valeurs de pH restent très élevées (Max de 8,2) par rapport à celles des étangs paysans pendant la phase de démarrage jusqu'à la semaine 12 (min de 5,97) où il chute et s'enchevêtre aux profils des autres étangs pendant le reste de temps d'élevage. Toutefois, pendant la phase de démarrage, les valeurs minimales de pH enregistrées ont été de 5,6 UC (S4) pour l'étang E1 ; 5,2 UC (S4) pour l'étang E2 et l'étang E3 et 5,9 UC (S12) pour l'étang ET; et les valeurs maximales de 6,6 UC (S12) pour l'étang E1 ; 6,7 UC (S12) pour l'étang E2 et l'étang E3 et 8,2 UC (S7) pour l'étang ET. Au cours du cycle complet, les valeurs moyennes ont été de  $6,5 \pm 0,5$  UC pour les étangs E1 et E2 ;  $6,4 \pm 2,9$  UC pour l'étang E3 et  $6,6 \pm 0,4$  UC pour l'étang ET et un pic de pH (7,5 UC) est observable dans les étangs paysans au septième mois d'élevage (Fig. 20 A).

Les profils de l'alcalinité des étangs paysans s'entrecroisent et évoluent de façon décroissante pendant toute l'étude quelle que soit la phase considérée. Celle de l'étang témoin ET évolue dans le même sens mais présente pour la plupart de temps des valeurs plus élevées (supérieures à 97 mg/L). Toutefois, les valeurs de l'alcalinité de l'étang ET se rapprochent de celles des étangs paysans entre la semaine 4 (40mg/L) et la semaine 6 (78 mg/L) pendant le démarrage et entre le mois 6 (32 mg/L) et le mois 9 (42 mg/L) au cours du cycle complet. Dans l'ensemble, les valeurs du Titre Alcalimétrique Complet ont oscillé dans l'étang E1 entre 12 mg/L et 90 mg/L, entre 12 mg/L et 126 mg/L dans l'étang E2, entre 16 mg/L et 102 mg/L dans l'étang E3 et entre 40 mg/L et 168 mg/L dans l'étang ET pendant la phase de démarrage (figure 20 B). Les moyennes d'alcalinité obtenues pour le cycle complet ont été de  $38,3 \pm 22,6$  mg/L dans l'étang E1,  $40,6 \pm 24,3$  mg/L dans l'étang E2,  $33,7 \pm 31,3$  mg/L dans l'étang E3 et  $61,7 \pm 29,6$  mg/L dans l'étang ET.

Au cours de la phase de démarrage, la dureté calcique varie entre 2 mg/L obtenue dans les étangs paysans (à la quatorzième semaine pour l'étang E1, quatrième semaine pour l'étang E2 et onzième semaine pour l'étang E3) et 32,2 mg/L dans ET à la sixième semaine. Les étangs paysans présentent des valeurs faibles (inférieures à 18 mg/L) et proches pour la plupart de cas alors que celles de l'étang témoin ET sont situées entre 10 mg/L (semaine onze) et 32,2 mg/L (sixième semaine). L'allure générale des courbes de variation de ce paramètre au niveau des plans d'eau étudiés est ondulée avec des maxima observés à la sixième semaine (16 mg/L dans l'étang E1 et 12 mg/L dans l'étang E2) et à la troisième semaine (18 mg/L dans l'étang E3), et

des minima de 2 mg/L dans les étangs E1, E2 et E3. Des observations semblables sont faites entre le premier et le cinquième mois d'élevage à partir duquel les valeurs sont faibles (inférieures à 14 mg/L) et semblables quel que soit le plan d'eau ou le mois de prélèvement (Fig. 20 C).



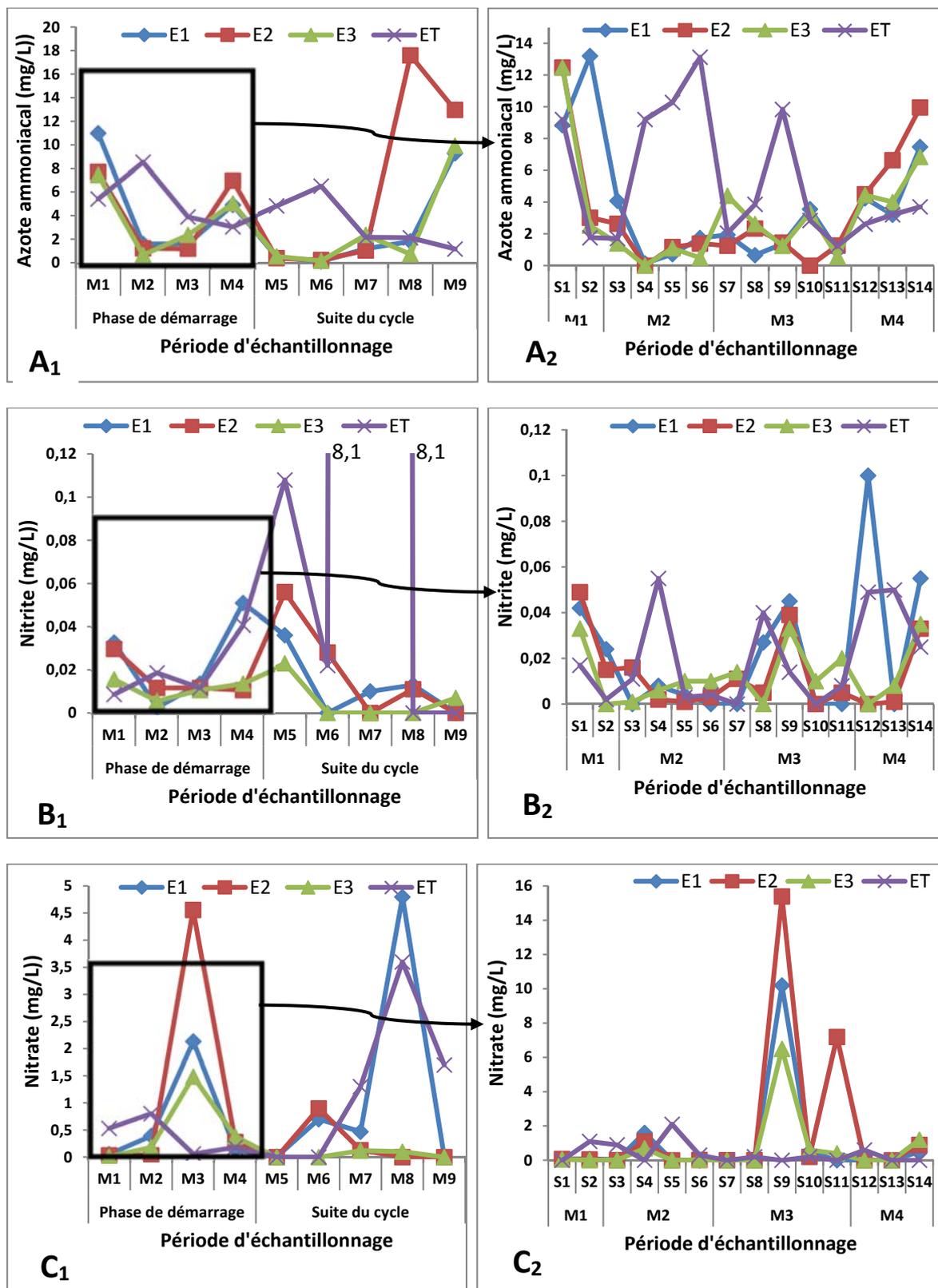
**Figure 20 :** Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet (A1, B1, C1) et détail de la phase de démarrage (A2, B2, C2) du pH (A), de l'alcalinité totale (B) et de la dureté calcique (C).

### III.1.1.2.3. Formes d'azote

Les teneurs en azote ammoniacal des eaux des étangs étudiés ont été pour la plupart des cas élevées (supérieures à 2 mg/L) et ont subi de brusques variations, surtout dans l'étang témoin ET pendant la phase de démarrage entre la première et la dixième semaine. L'étang E2 a présenté aussi une valeur très importante de  $\text{NH}_4^+$  (17,6 mg/L) au huitième mois d'élevage (Fig. 21 A). Toutefois, les valeurs moyennes de l'azote ammoniacal ont été assez proches dans les plans d'eau étudiés ; elles ont été de  $5,8 \pm 8,4$  mg/L (E1),  $4,3 \pm 3,8$  mg/L (E2),  $3,9 \pm 3,1$  mg/L (E3),  $5,3 \pm 4$  mg/L (ET) pour la phase de démarrage et de  $4,9 \pm 6,6$  mg/L (E1),  $6 \pm 6,3$  mg/L (E2)  $3,6 \pm 5,6$  mg/L (E3) et  $4,2 \pm 2,3$  mg/L (ET) pour le cycle complet.

Les teneurs en nitrites ont été très faibles et évoluent en dents de scie entre les teneurs indétectables et 0,3 mg/L dans tous les plans d'eau étudiés et quelle que soit la phase de prélèvement. Cependant, une valeur atypique de nitrites (8,1 mg/L) a été enregistrée au huitième mois du cycle complet dans l'étang témoin ET (Fig. 21 B). Toutefois les teneurs moyennes des eaux en ions nitrites ont été inférieures à 1 mg/L dans tous les plans d'eau quelque soit la phase de prélèvement.

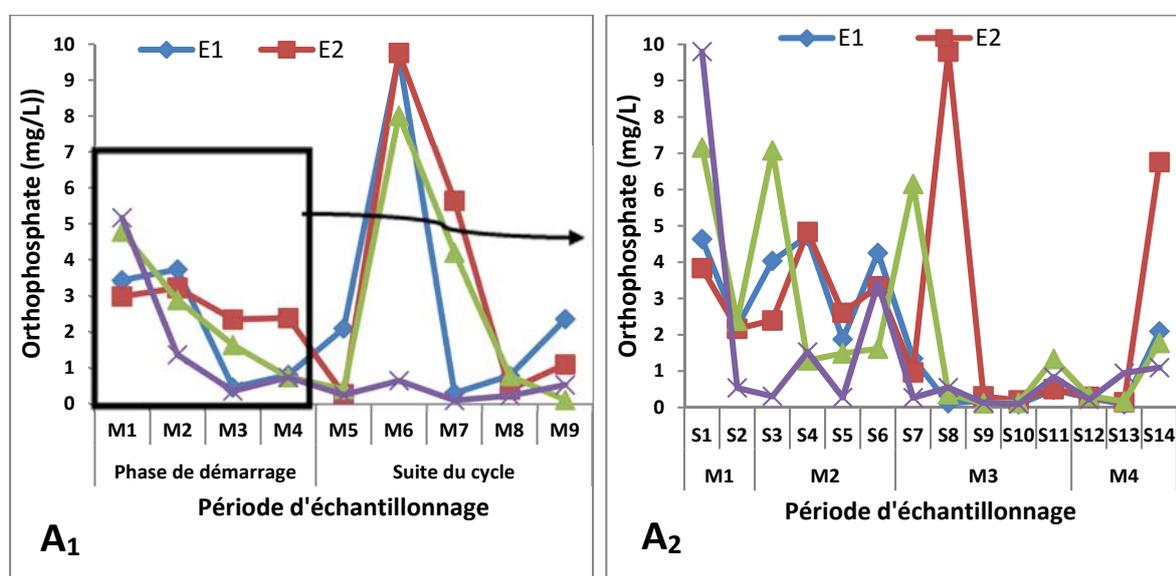
Quant aux nitrates, les teneurs des eaux des étangs étudiés ont été faibles et presque homogènes entre les teneurs indétectables et 2 mg/L lorsqu'on excepte les teneurs assez importantes obtenues la neuvième semaine d'élevage dans les étangs paysans pendant le démarrage (entre 6,5 mg/L et 15,4 mg/L) soit le troisième mois du cycle complet et le huitième mois du cycle complet dans E1 (4,8 mg/L) et ET (3,6 mg/L) (Fig. 21 C). Toutefois, les teneurs moyennes des eaux en ions nitrates ont été inférieures à 1 mg/L dans tous les plans d'eau quelle que soit la phase de prélèvement.



**Figure 21 :** Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet (A1, B1, C1) et détail de la phase de démarrage (A2, B2, C2) de l'azote ammoniacal (A), du nitrite (B) et du nitrate (C).

### III.1.1.2.4. Orthophosphates

Les résultats obtenus dans les étangs paysans montrent que les teneurs des eaux en ions phosphates ont été élevées ( $> 2\text{mg/L PO}_4^{3-}$ ) pour la plupart des cas et ont varié de façon irrégulière, les profils présentant des dents de scie surtout à la phase de démarrage. Des pics très remarquables sont observés à la huitième semaine d'élevage dans l'étang E2 (9,8 mg/L) et au sixième mois du cycle complet (environ 9 mg/L) dans les étangs paysans. Par contre, si l'on excepte la première semaine d'élevage (9,8 mg/L) soit le premier mois du cycle complet (5,17 mg/L), l'eau de l'étang témoin ET a présenté des faibles teneurs en ions phosphates (inférieures à 2 mg/L) au cours de l'étude (Fig. 22). Toutefois, les teneurs moyennes ont été de  $1,8 \pm 1,8$  mg/L (E1),  $3,1 \pm 2,9$  mg/L (E2),  $2,2 \pm 2,5$  mg/L (E3),  $1,4 \pm 2,5$  mg/L (ET) durant la phase de démarrage et de  $2,6 \pm 2,9$  mg/L (E1),  $3,1 \pm 2,9$  mg/L (E2),  $2,6 \pm 3,7$  mg/L (E3),  $1 \pm 1,5$  mg/L (ET) pendant le cycle complet.



**Figure 22 :** Variation spatio-temporelle des variables chimiques pendant le cycle complet (A1) et détail de la phase de démarrage (A2) de l'orthophosphate

### III.1.2.3. Analyse des données de la qualité physico-chimique des étangs étudiés

#### III.1.2.3.1 Corrélation entre les données physico-chimiques des étangs étudiés

Quel que soit le plan d'eau ou la phase d'étude, au moins six types de corrélations ont été enregistrées (tableau VI).

**Tableau VI** : Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E1 pendant le cycle complet (A) et détail de la phase de démarrage (B).

A

Cycle complet	Temp.	MES	Couleur	Alcalinité	Dureté calcique
Secchi	<b>0,735*</b>	<b>-0,861**</b>	<b>-0,845**</b>	-0,151	-0,572
MES	<b>-0,949**</b>	/	<b>0,837**</b>	-0,126	0,337
Couleur	<b>-0,749*</b>	<b>0,837**</b>	/	0,383	<b>0,696*</b>
pH	0,281	-0,234	-0,450	<b>0,767*</b>	<b>-0,548*</b>

B

Démarrage	MES	Couleur	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Secchi	<b>-0,893**</b>	<b>-0,974**</b>	<b>-0,553*</b>	<b>0,711**</b>	-0,017
Alcalinité	0,181	0,157	<b>0,799**</b>	-0,398	0,043
MES	/	<b>0,898**</b>	0,383	-0,438	0,203
pH	-0,438	<b>-0,625*</b>	<b>-0,685**</b>	/	-0,235
Turbidité	0,238	0,378	0,232	-0,335	<b>-0,541*</b>
O <sub>2</sub>	0,216	0,077	<b>0,546*</b>	-0,246	0,180

\*P < 0,05 (corrélation significative)

\*\*P < 0,01 (corrélation hautement significative)

Dans l'étang E1 (tableau VI), la physicochimie relevée au cours du démarrage présente 10 corrélations significatives. D'une part, on note des corrélations négatives ( $p < 0,05$ ) entre la transparence et l'orthophosphate, le pH et la couleur, la turbidité et le nitrate ; une corrélation négative ( $p < 0,01$ ) pH et orthophosphate. D'autre part, le plan d'eau présente une corrélation positive ( $p < 0,05$ ) entre l'oxygène et les orthophosphates et des corrélations positives ( $p < 0,01$ ) entre alcalinité et orthophosphates, transparence et pH. Le cycle complet enrégistre 9 corrélations dont 5 sont négatives. Il s'agit de la corrélation ( $p < 0,01$ ) MES et température et des corrélations ( $p < 0,05$ ) entre couleur et température, pH et dureté calcique. Les corrélations positives sont établies à  $p < 0,05$  entre transparence et température, pH et alcalinité, couleur et dureté. Les corrélations qui se sont établies au démarrage et se sont maintenues pour la suite du cycle sont : les corrélations négatives ( $p < 0,01$ ) entre transparence et MES, entre transparence et couleur et les corrélations positives ( $p < 0,01$ ) entre couleur et MES.

**Tableau VII :** Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E2 pendant le cycle complet (A) et détail de la phase de démarrage (B)

A

Cycle complet	Température	Oxydabilité	MES	Dureté Calcique	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Transparence	<b>0,770*</b>	-0,160	<b>-0,641*</b>	-0,272	0,076	-0,376	-0,376
Alcalinité	-0,301	<b>0,815**</b>	-0,067	<b>-0,511*</b>	0,361	<b>0,583*</b>	<b>0,583*</b>
Couleur	-0,397	<b>0,519*</b>	<b>0,803**</b>	-0,085	-0,042	0,221	0,352
Conductivité	0,114	<b>0,667*</b>	-0,283	<b>-0,724*</b>	<b>0,833**</b>	-0,220	-0,219
pH	-0,176	<b>-0,750**</b>	0,100	<b>0,579*</b>	-0,250	-0,271	-0,228
O <sub>2</sub>	-0,123	0,317	<b>0,517*</b>	0,026	0,433	-0,233	<b>0,911**</b>

Démarrage	Température	Secchi	Turbidité	Conductivité	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	O <sub>2</sub>	Couleur	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Turbidité	<b>0,611*</b>	<b>-0,602*</b>	/	0,268	0,384	<b>0,641*</b>	0,343	0,071
alcalinité	-0,025	<b>-0,560*</b>	<b>0,690**</b>	<b>0,641*</b>	<b>0,689**</b>	<b>0,703**</b>	0,351	0,394
MES	0,098	<b>-0,610*</b>	0,195	-0,119	0,291	0,254	<b>0,546*</b>	0,435
Couleur	0,337	<b>-0,825**</b>	0,343	-0,062	0,238	0,139	/	<b>0,610*</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>-0,511*</b>	-0,165	-0,233	<b>0,705**</b>	0,086	0,304	0,046	0,454
O <sub>2</sub>	0,065	-0,374	<b>0,641*</b>	<b>0,608**</b>	0,482	/	0,139	0,298

Dans l'étang E2 (tableau VII), la physicochimie relevée au cours du démarrage présente 16 corrélations significatives. D'une part, on note des corrélations négatives ( $p < 0,05$ ) entre la transparence et l'alcalinité la transparence et la turbidité, la température et l'azote ammoniacal ; une corrélation négative ( $p < 0,01$ ) entre la transparence et la couleur. D'autre part, le plan d'eau présente des corrélations positives ( $p < 0,05$ ) entre l'oxygène et turbidité, la température et la turbidité, l'alcalinité et la conductivité, la couleur et les MES, la couleur et le nitrite et des corrélations positives ( $p < 0,01$ ) entre alcalinité et la turbidité, la conductivité et l'oxygène, l'oxygène et l'alcalinité, l'alcalinité et l'orthophosphate. Le cycle complet enrégistre 14 corrélations dont les négatives sont : pH et dureté calcique ( $p < 0,01$ ), dureté calcique et conductivité ( $p < 0,05$ ). Les corrélations positives sont établies à  $p < 0,05$  entre transparence et température, nitrate et alcalinité, alcalinité et nitrite, couleur et oxydabilité, oxydabilité et conductivité, pH et dureté calcique, oxygène et MES ; et à  $p < 0,01$  entre oxygène et nitrite, alcalinité et oxydabilité. Les corrélations qui se sont établies au démarrage et se sont maintenues pour la suite du cycle sont : les corrélations négatives ( $p < 0,05$ ) entre transparence et MES, et les corrélations positives ( $p < 0,01$ ) entre couleur et MES, conductivité et azote ammoniacal.

**Tableau VIII** : Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang E3 pendant le cycle complet (A) et détail de la phase de démarrage (B)

A

Cycle complet	Transparence	pH	MES	Conductivité
MES	<b>-0,821**</b>	-0,042	1,000	0,469
Couleur	<b>-0,983**</b>	-0,055	<b>0,857**</b>	0,293
Alcalinité	0,264	<b>0,795*</b>	0,042	<b>0,533*</b>
O <sub>2</sub>	-0,051	-0,201	0,293	<b>0,783*</b>

B

Démarrage	Transparence	Alcalinité	Couleur	Turbidité	Oxydabilité	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	O <sub>2</sub>
MES	<b>-0,694**</b>	<b>0,658*</b>	<b>0,848**</b>	<b>0,577*</b>	-0,240	0,435	0,254
Couleur	<b>-0,908**</b>	<b>0,559*</b>	/	0,343	<b>0,546*</b>	<b>0,610*</b>	0,139
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,165	<b>-0,560*</b>	0,046	-0,233	<b>-0,552*</b>	0,454	0,304
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,078	-0,487	0,411	-0,238	-0,193	<b>0,577*</b>	-0,153
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,271	<b>0,689**</b>	0,238	0,384	0,086	0,404	<b>0,657*</b>

Dans l'étang E3 (tableau VIII), la physicochimie relevée au cours du démarrage présente 13 corrélations significatives. D'une part, on note des corrélations négatives à  $p < 0,05$  entre l'alcalinité et l'azote ammoniacal, azote ammoniacal et oxydabilité et des corrélations positives à  $p < 0,01$  entre l'alcalinité et l'orthophosphate et à  $p < 0,05$  entre turbidité et MES, alcalinité et couleur, MES et alcalinité, oxydabilité et couleur, couleur et nitrite, nitrite et nitrate, oxygène et orthophosphate. Les corrélations qui se sont établies au démarrage et se sont maintenues pour la suite du cycle sont : les corrélations négatives ( $p < 0,01$ ) entre transparence et MES, la couleur et la transparence et une corrélation positive ( $p < 0,01$ ) entre couleur et MES. Les corrélations positives entre le pH et l'alcalinité ( $p < 0,01$ ) et entre oxygène et la conductivité, la conductivité et l'alcalinité à  $p < 0,05$  ont été aussi observées au cours du cycle complet de l'élevage.

**Tableau IX :** Corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'étang ET pendant le

A cycle complet (A) et détail de la phase de démarrage. (B)

Cycle complet	Temp	Transparence	Alcalinité	MES	Dureté calcique	Couleur	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
MES	<b>0,669*</b>	-0,034	0,250	/	0,218	<b>0,883**</b>	0,083	-0,084
Couleur	<b>0,728*</b>	-0,315	0,117	<b>0,883**</b>	0,201	/	-0,217	0,167
Turbidité	<b>0,778*</b>	-0,060	0,133	<b>0,867**</b>	0,092	<b>0,800*</b>	-0,100	0,293
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,209	<b>0,843**</b>	0,333	0,083	0,351	-0,217	/	<b>-0,619*</b>
Oxygène dissous	<b>0,527*</b>	<b>-0,826**</b>	-0,200	0,433	-0,410	<b>0,550*</b>	-	0,377
Dureté calcique	0,273	0,440	<b>0,845**</b>	0,218	/	0,201	0,351	-0,055
Conductivité	-0,008	<b>0,638*</b>	<b>0,733*</b>	0,250	<b>0,778*</b>	0,117	0,500	-0,184
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,126	<b>0,502*</b>	<b>0,533*</b>	-0,067	<b>0,753*</b>	-0,050	<b>0,600*</b>	-0,226
Oxydabilité	0,243	<b>-0,502*</b>	-0,067	-0,100	-0,126	0,167	<b>0,750*</b>	<b>0,778*</b>

B

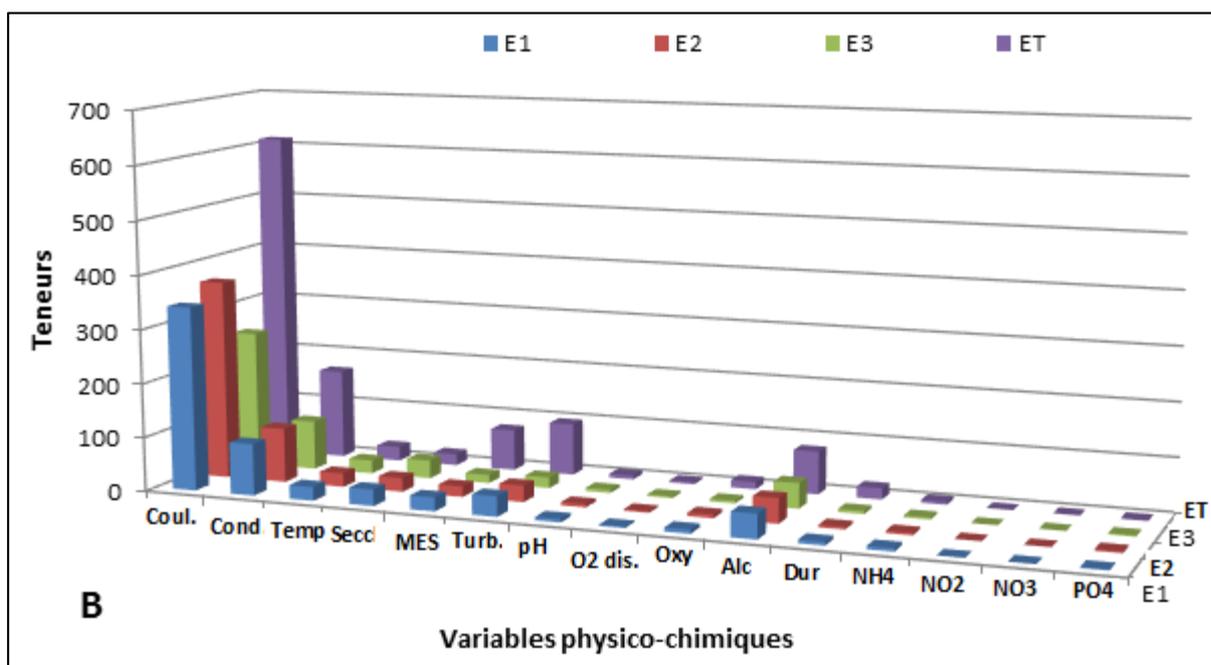
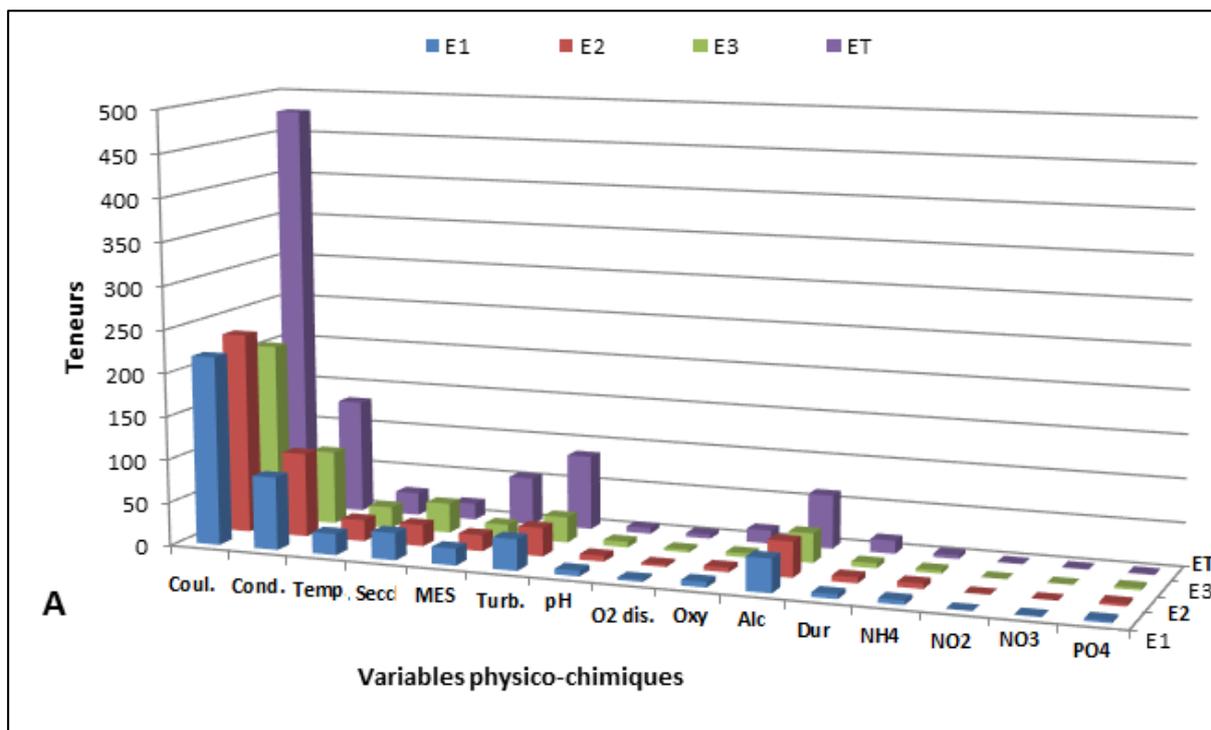
Démarrage	Dureté calcique	Couleur	Turbidité	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	O <sub>2</sub>	MES	oxydabilité	Conductivité
MES	<b>-0,612**</b>	<b>0,908**</b>	<b>0,853**</b>	<b>-0,636*</b>	<b>0,625*</b>	/	0,203	-0,108
Transparence	0,419	-	<b>-0,548*</b>	<b>0,650**</b>	-0,255	-	<b>-0,541*</b>	0,000
Alcalinité	0,430	-0,277	-0,477	-0,095	<b>-0,551*</b>	-0,268	0,493	<b>0,520*</b>
Couleur	<b>-0,671**</b>	/	<b>0,698**</b>	<b>0,651**</b>	0,444	<b>0,908**</b>	0,347	-0,258
dureté calcique	/	-	<b>-0,618**</b>	0,369	<b>0,609**</b>	<b>-0,612*</b>	0,022	0,379
pH	0,139	-0,192	0,095	0,103	-0,147	-0,049	0,134	<b>0,776**</b>
turbidité	<b>-0,618*</b>	<b>0,698**</b>	/	-0,415	<b>0,695**</b>	-	0,068	0,057
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,280	0,002	0,068	-0,038	-0,117	0,203	<b>0,504*</b>	0,425

A l'examen du tableau IX, 20 corrélations significatives sont dénombrées pendant la période de démarrage et ce nombre passe à 23 au terme du cycle complet d'élevage. De ces corrélations, 6 sont communes pour les deux phases d'étude. Il s'agit d'une corrélation négative ( $p < 0,05$ ) entre le Secchi et l'oxydabilité, de 5 corrélations positives à  $p < 0,05$  entre alcalinité et conductivité, azote ammoniacal et oxydabilité et à  $p < 0,01$  entre MES et couleur, MES et turbidité, turbidité et couleur.

### III.1.2.3.2. Comparaison des données physico-chimiques des étangs étudiés

Les figures 23 (A et B) présentent les données physico-chimiques comparées entre les étangs pris en compte dans cette étude. Ces figures relèvent que les eaux de l'étang E3 présentent de faibles teneurs pour la plupart des paramètres physico-chimiques ; il s'agit de la couleur, la turbidité, les MES, la dureté calcique, l'oxydabilité, la conductivité électrique, l'azote ammoniacal. Les eaux de l'étang ET par contre présentent des teneurs très élevées (plus du double des valeurs observées dans E3) en ces éléments. Lorsqu'on excepte le pH, la température, la dureté calcique, l'alcalinité, le nitrate et l'oxygène dissous, les variables physico-chimiques des eaux des étangs E1 et E2 ont des valeurs légèrement élevées par rapport à celles des eaux de l'étang E3; l'étang E2 présentant une charge plus importante en orthophosphates, nitrites, azote ammoniacal, couleur et conductivité électrique que l'étang E1 pendant toute l'étude.

Les valeurs du pH et de la température sont proches dans tous les plans d'eau quelle que soit la phase d'étude avec une moyenne de 6,5 et 25°C respectivement. La transparence au disque de Secchi évolue de façon croissante lorsqu'on part de ET à E3 passant par E2 puis E1. Les eaux des étangs sont particulièrement riches en orthophosphates et azote ammoniacal avec des teneurs moyennes supérieures à 1mg/L.



**Figure 23** : Données moyennes des variables physico-chimiques enregistrées dans les plans d'eau au terme du cycle complet de l'élevage (A) et détail de la phase de démarrage (B)

**Légende** : coul : couleur (U Pt-Co) ; Cond : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ; Secc : Secchi (cm) ; MES (mg/L) ; Turb : turbidité (FTU) ; O2 dis : Oxygène dissous (mg/L) ; Oxy :Oxydabilité (mg/L) ; Alc : Alcalinité (mg/L) ; Dur :Dureté totale (mg/L) ; NH4 : Azote ammoniacal (mg/L) ; NO2 : Nitrites (mg/L) ; N03 : Nitrates (mg/L) ; PO4 : Orthophosphates (mg/L)

La comparaison des données moyennes des paramètres physico-chimiques entre les étangs pris deux à deux à l'aide des tests U de Mann-Whitney ou Post Hoc Descheffe révèle de

différences significatives de température, de dureté calcique, d'oxydabilité et de transparence entre chacun des étangs paysans et l'étang témoin quelle que soit la phase de l'étude (Tableau X). Les paramètres tels que l'alcalinité, le pH et la conductivité électrique présentent aussi de différences significatives entre l'étang témoin et les autres plans d'eau mais seulement à la phase de démarrage. A cette même phase de l'élevage, des différences significatives de MES et de turbidité ont été exclusivement enregistrées entre E3 et ET (Tableau X A) alors que pendant le cycle complet de l'élevage, une différence significative de turbidité est observée entre l'étang témoin et chacun des étangs paysans (Tableau X B).

**Tableau X :** Comparaison des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques entre les étangs à l'aide du test U de Mann-Whitney pendant la phase de démarrage (A) et le cycle complet d'élevage (B).

(A) : Phase de démarrage

	T°.	Alc.	Secchi	pH	MES	Dur. cal	Turb.	Cond.	Oxyd.
<b>E1-E2</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>E1-E3</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>E1-ET</b>	0,015	0,010	0,001	0,001	-	0,001		0,001	0,003
<b>E2-E3</b>	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-
<b>E2-ET</b>	0,002	0,005	0,041	0,001		0,001	-	0,018	0,001
<b>E3-ET</b>	0,001	0,024	0,001	0,001	0,031	0,001	0,048	0,005	0,001

P < 0,05 ; N=28 observations ; ddl= 26

(B) : Cycle complet

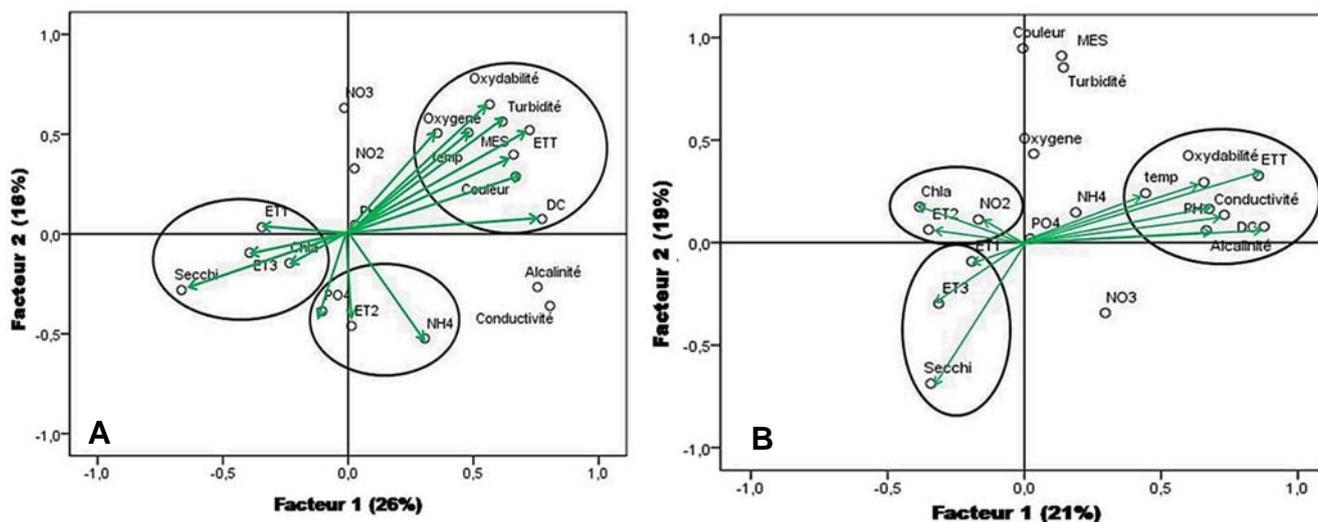
	T°.	Secchi	Dur. cal	Turb.	Oxyd.
<b>E1-E2</b>	-	0,019	-	-	-
<b>E1-E3</b>	-	-	-	-	-
<b>E1-ET</b>	0,006	0,001	0,001	0,017	0,001
<b>E2-E3</b>	-	0,023	-	-	-
<b>E2-ET</b>	0,003	0,032	0,005	0,009	0,001
<b>E3-ET</b>	0,002	0,001	0,002	0,005	0,001

P < 0,05 ; N=18 observations ; ddl= 16.

La projection des données de la physicochimie des étangs sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP fait apparaître des affinités entre les paramètres physicochimiques et les étangs.

Pendant le cycle complet (Fig. 24 A), les deux premières composantes sur le plan factoriel expriment 42% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) exprimant 26% de l'inertie totale et le second axe (F2) 16%. Ces axes ont regroupé les données en 3 noyaux principaux

dans lesquels l'étang témoin est associé aux fortes valeurs d'oxygène, d'oxydabilité, de MES, de turbidité, de couleur, de Dureté calcique et de température ; l'étang E1 et l'étang E3 sont associés aux fortes valeurs de Chl *a* et de Secchi et l'étang 2 est associé aux fortes valeurs d'orthophosphates et d'ammoniac.



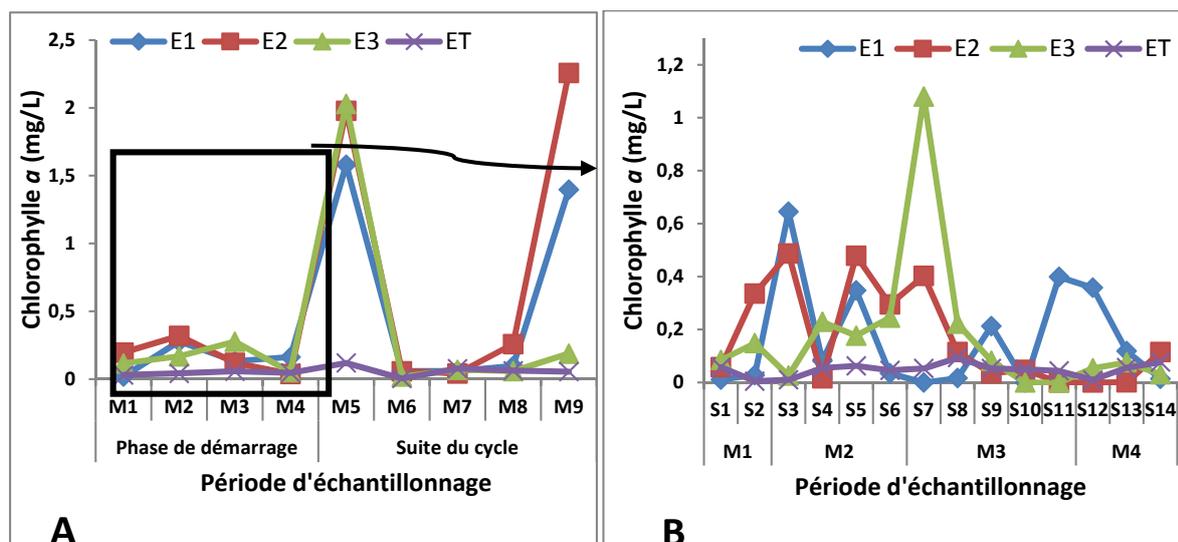
**Figure 24 :** ACP des variables physico-chimiques enregistrées dans les plans d'eau au terme du cycle complet de l'élevage (A) et de la phase de démarrage (B).

Les détails de la phase de démarrage (fig. 24 B) montrent que les deux premières composantes sur le plan factoriel expriment à elles seules 40% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) explique 21% de l'inertie totale et le deuxième axe (F2) 19% de l'inertie totale. Ces axes ont regroupé les données en 3 noyaux principaux qui associent l'étang témoin aux fortes valeurs de la Conductivité, de la température, de l'oxydabilité, du pH, de la dureté calcique et de l'alcalinité ; l'étang 1 et l'étang 3 aux fortes valeurs de la transparence et l'étang 2 aux fortes valeurs de la chlorophylle et des nitrites.

### III.1.1.3. Chlorophylle *a*

Quelle que soit la phase de l'étude, les teneurs des eaux en chlorophylle *a* ont été pour la plupart de temps très variables et élevées dans les étangs paysans par rapport à l'étang témoin où le profil de la chlorophylle *a* semble linéaire. En effet, dans ET, aucune donnée n'atteint 150  $\mu\text{g/L}$  tandis que dans les étangs paysans, on observe des pics importants de concentration de la chlorophylle *a* la septième semaine (1080  $\mu\text{g/L}$ ) de la phase de démarrage dans E3, le cinquième et le neuvième mois (entre 1300  $\mu\text{g/L}$  et 2200  $\mu\text{g/L}$ ) dans tous les trois plans d'eau pendant le cycle complet de l'élevage. Toutefois, les données des différents prélèvements présentent des moyennes de  $421 \pm 612 \mu\text{g/L}$  (E1),  $586 \pm 878 \mu\text{g/L}$  (E2),  $332 \pm 771 \mu\text{g/L}$  (E3),  $55,6 \pm 32$

$\mu\text{g/L}$  (ET) au cours du cycle complet (fig.25 A) et de  $162 \pm 201 \mu\text{g/L}$  (E1),  $171 \pm 187 \mu\text{g/L}$  (E2),  $175 \pm 274 \mu\text{g/L}$  (E3),  $48,2 \pm 25 \mu\text{g/L}$  (ET) pendant la phase de démarrage (fig. 25 B).



**Figure 25 :** Variation spatio-temporelle de la chlorophylle *a* pendant le cycle complet (A) d'élevage et détail de la phase de démarrage (B).

**Tableau XI :** Evaluation de la corrélation entre la chlorophylle *a* et les variables physicochimiques de l'eau des étangs étudiés.

	Etang 2		Etang Témoin			
	Turbidité	NO <sub>3</sub>	Secchi	NH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<b>Chl <i>a</i> Démarrage</b>	<b>0,662**</b>	-	<b>-0,500*</b>	<b>0,562*</b>	-	-
<b>Chl <i>a</i> Cycle complet</b>	-	<b>-0,763**</b>	-	<b>0,550*</b>	<b>0,700*</b>	<b>-0,850**</b>

Les corrélations significatives avec la chlorophylle *a* n'ont été relevées que dans les étangs E2 et ET. Ainsi, le tableau XI montre dans l'étang E2, une corrélation positive avec la turbidité au démarrage et une corrélation négative avec les nitrates au cycle complet de l'élevage. Cependant à l'étang témoin, cinq corrélations significatives ont été observées : il s'agit au démarrage d'une corrélation positive avec l'azote ammoniacal et d'une corrélation négative avec la transparence ; au cycle complet d'une corrélation négative avec les orthophosphates et des corrélations positives avec l'oxygène dissous et l'azote ammoniacal.

### III.1.2. Zooplancton des étangs

#### III.1.2.1. Biodiversité zooplanctonique

##### III.1.2.1.1. Richesse spécifique

61 espèces de zooplancton au total ont été récoltées au cours de la phase de démarrage et du cycle complet de l'élevage avec 84% de rotifères (donc 51 espèces), 10% (donc 6 espèces) de cladocères et 6% de copépodes (donc 4 espèces). Toutefois à la fin de la phase de démarrage, 54 espèces de zooplancton au total avaient déjà été rencontrées dont 83% de rotifères, 9% de cladocères et 8% de copépodes.

**Tableau XII** : Liste des espèces récoltées dans les plans d'eau et leur fréquence d'occurrence

Famille	Espèces	Fréquence d'occurrence (%)							
		Phase de démarrage				Cycle complet d'élevage			
		E1	E2	E3	ET	E1	E2	E3	ET
Asplanchnidae	<i>Asplanchna brightwelli</i>	50	50	57,1	78,5	100	66,6	77,7	100
	<i>Asplanchna herricki</i>	14,2	7,1	7,1	0	11,1	11,1	11,1	0
	<i>Asplanchna</i> sp.	7,1	14,2	7,1	21,4	11,1	11,1	11,1	22,2
Brachionidae	<i>Anuraeopsis fissa</i>	64,2	42,8	42,8	42,8	77,7	77,7	66,6	55,5
	<i>Anuraeopsis naviculata</i>	0	0	7,1	0	0	0	11,1	0
	<i>Notholca acurinata</i>	0	0	7,1	14,2	0	0	11,1	11,1
	<i>Brachionus angularis</i>	100	92,8	85,7	100	100	100	100	100
	<i>Brachionus quadridentatus</i>	7,1	21,4	78,5	14,2	55,5	44,4	77,7	66,6
	<i>Brachionus patulus</i>	7,1	0	7,1	0	11,1	0	11,1	0
	<i>Brachionus leydigi</i>	28,5	42,8	21,4	21,4	33,3	44,4	55,5	44,4
	<i>Brachionus falcatus</i>	21,4	35,7	0	0	22,2	44,4	22,2	0
	<i>Brachionus calyciflorus</i>	42,8	57,1	57,1	42,8	100	88,8	88,8	77,7
	<i>Brachionus bidentatus</i>	21,4	28,5	0	0	33,3	33,3	11,1	0
	<i>Brachionus quadridentatus</i> var.	0	0	0	28,4	0	0	0	22,2
	<i>Brachionus</i> sp.	0	0	0	21,4	0	0	0	33,3
	<i>Brachionus rubens</i>	0	0	0	21,4	0	11,1	11,1	66,6
	<i>Platytias quadricornis</i>	0	0	0	0	11,1	0	0	0
Gastropodidae	<i>Gastropus hyptopus</i>	7,1	0	0	64,2	22,2	11,1	0	66,6
	<i>Ascomorpha saltans</i>	14,2	14,2	0	14,2	33,3	22,2	0	33,3
Colurellidae	<i>Lepadella</i> sp.	0	0	7,1	0	0	0	11,1	0
	<i>Colurella</i> sp.	21,4	7,1	7,1	0	22,2	11,1	22,2	0
Epiphanidae	<i>Epiphanes clavatula</i>	21,4	14,2	0	14,2	22,2	22,2	0	22,2
	<i>Epiphanes macrourous</i>	57,1	28,5	0	78,5	66,6	88,8	44,4	77,7
	<i>Epiphanes brachionus</i>	0	0	0	14,2	0	0	0	22,2
	<i>Microcodides robustus</i>	0	0	0	0	11,1	0	0	0
Euchlanidae	<i>Euchlanis dilatata</i>	50	21,4	21,4	0	44,4	22,2	33,3	11,1
Notomatidae	<i>Cephalodella megalcephala</i>	0	0	21,4	0	0	0	22,2	0
	<i>Cephalodella</i> sp.	0	0	14,2	0	0	0	22,2	0
Filiniidae	<i>Filinia intermedia</i>	0	0	14,2	0	0	0	11,1	0

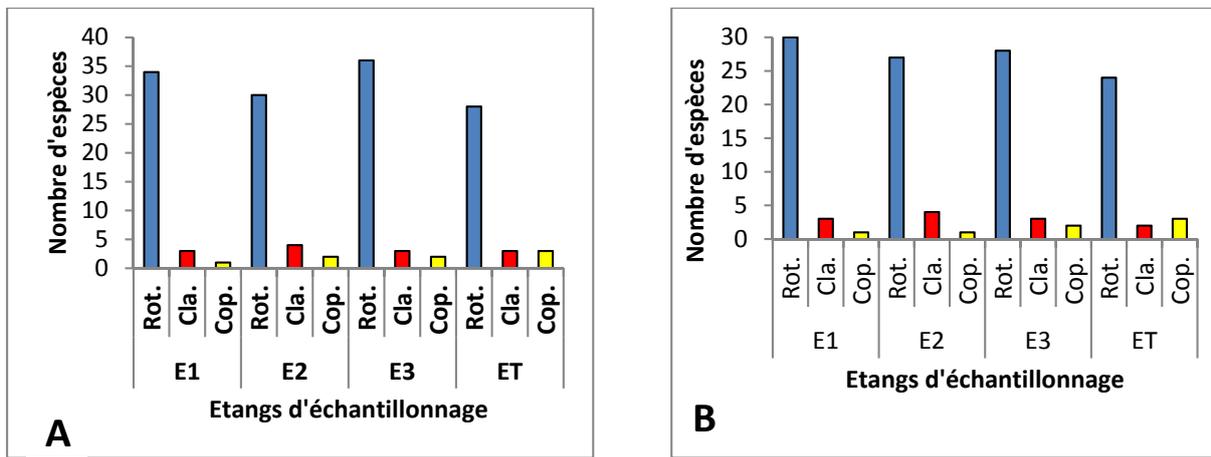
	<i>Filinia longiseta</i>	42,8	35,7	14,2	64,2	33,3	22,2	11,1	77,7
Hexarthridae	<i>Hexarthra intermedia</i>	21,4	35,7	71,4	0	33,3	22,2	44,4	0
Mytilinidae	<i>Mytilina bisulcata</i>	28,5	14,2	28,5	35,7	33,3	33,3	33,3	22,2
Lecanidae	<i>Lecane bulla</i>	50	64,2	85,7	0	66,6	44,4	66,6	22,2
	<i>Lecane papuana</i>	42,8	35,7	50	0	66,6	44,4	55,5	33,3
Synchaetidae	<i>Synchaeta vorax</i>	0	0	0	7,1	0	0	0	11,1
	<i>Synchaeta monopus</i>	0	0	0	7,1	0	0	0	11,1
	<i>Polyarthra dolichoptera</i>	0	0	0	21,4	0	0	0	33,3
	<i>Polyarthra vulgaris</i>	85,7	78,5	71,4	57,1	88,8	77,7	77,7	77,7
	<i>Pompholyx complanata</i>	7,1	7,1	7,1	0	22,2	11,1	11,1	0
Philodinidae	<i>Rotaria citrina</i>	7,1	0	14,2	0	11,1	0	22,2	44,4
	<i>Rotaria sp.</i>	0	21,4	0	0	0	11,1	11,1	0
	<i>Rotaria rotaria</i>	64,2	50	64,2	28,5	88,8	77,7	100	66,6
	<i>Rotaria neptuna</i>	7,1	0	0	0	11,1	0	0	0
Testidunellidae	<i>Testidunella patina</i>	28,5	50	7,1	35,7	33,3	33,3	44,4	88,8
	<i>Testidunella bidens</i>	7,1	0	0	0	11,1	0	0	0
Trichocercidae	<i>Trichocerca pusilla</i>	7,1	21,4	35,7	0	11,1	22,2	22,2	0
	<i>Trichocerca cylindrica</i>	0	7,1	0	0	0	22,2	22,2	0
	<i>Trichocerca elongata</i>	0	0	0	0	0	11,1	22,2	0
	<i>Trichocerca sp.</i>	0	0	0	0	22,2	22,2	22,2	0
Flosculariidae	<i>Lacinularia flosculosa</i>	0	0	0	0	0	0	11,1	0
	<i>Harringa eupoda</i>	0	0	0	0	11,1	0	0	0
<b>Total des Rotifères</b>	<b>51 espèces</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
Daphniidae	<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	42,8	35,7	28,5	0	33,3	44,4	44,4	0
Chydoridae	<i>Chydorus sp.</i>	0	7,1	0	0	0	11,1	0	0
Psisidae	<i>Diaphanosoma volzi</i>	28,5	71,4	57,1	0	44,4	55,5	66,6	0
Moinidae	<i>Moina micrura</i>	64,2	71,4	28,5	78,5	77,7	88,8	55,5	88,8
	<i>Moina sp.</i>	0	0	0	21,4	0	0	0	44,4
Macrothricidae	<i>Macrothrix laticornix</i>	0	0	0	0	0	0	0	33,3
<b>Total des cladocères</b>	<b>6 espèces</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclopidae	<i>Tropocyclops confinis</i>	0	0	0	50	0	0	0	77,7
	<i>Thermocyclops sp.</i>	0	0	0	21,4	0	0	0	33,3
	<i>Mesocyclops salinus</i>	71,4	92,8	14,2	64,2	100	100	66,6	77,7
	<i>Acanthocyclops sp.</i>	0	0	11,1	0	0	11,1	11,1	0
<b>Total des Copépodes</b>	<b>4 espèces</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
/	Larve nauplius	78,5	100	100	85,7	100	88,8	100	77,7
	Copépodites	0	0	71,4	64,2	0	0	33,3	66,6
<b>Total général</b>	<b>61 espèces</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

Le tableau XII met en exergue la fréquence d'occurrence des espèces rencontrées dans chaque étang pour chaque phase d'étude et les différentes familles auxquelles elles appartiennent. A cet effet, les 45 espèces de rotifère recensées au cours du démarrage appartiennent à 16 familles. Les familles les plus représentées sont celles des Brachionidae avec

13 espèces suivies de celles des Philodinidae avec 4 espèces. Les familles de Mytilinidae, Hexarthriidae et Euchlanidae sont représentées chacune par une seule espèce. Les espèces fréquentes à plus de 70% ont été *Brachionus angularis* et *Polyarthra vulgaris* quel que soit le plan d'eau ; à celles-ci s'ajoutent *Brachionus quadridentatus*, *Hexarthra mira* et *Lecane bulla* dans E3, *Asplanchna brightwelli* et *Epiphanes macrourous* dans ET. Quand on considère tout le cycle d'élevage, le nombre d'espèces de rotifères au total passe de 45 à 51 avec sensiblement la même représentation. Cependant, les espèces fréquentes à plus de 70% sont *Brachionus angularis*, *Polyarthra vulgaris*, *Rotaria rotaria*, *Asplanchna brightwelli* et *Brachionus calyciflorus* pour tous les plans d'eau et à elles s'ajoutent pour E1 *Anureopsis fissa*, pour E2 et ET *Epiphanes macrourous*, pour E3 *Brachionus quadridentatus* et pour ET *Filinia longiseta*.

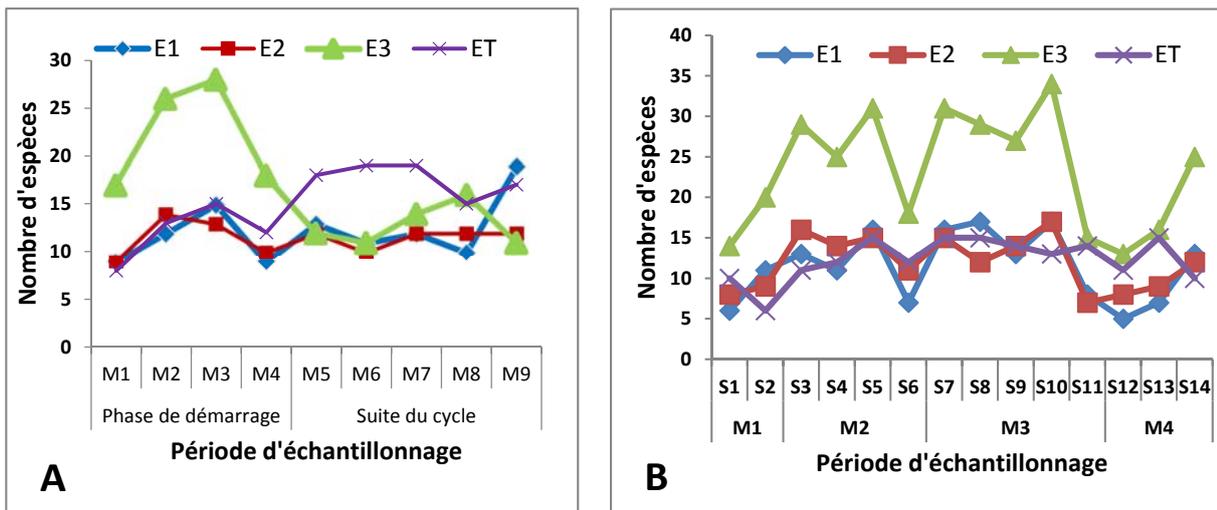
En ce qui concerne les Cladocères pendant le démarrage, si on excepte les Moinidae, 4 familles représentées chacune par une espèce sont récoltées et parmi celles-ci, les espèces fréquentes à plus de 70% sont *Diaphanosoma volzi* dans E2, *Moina micrura* dans E1, E2 et ET. La même observation est faite lorsqu'on considère tout le cycle d'élevage. Quant aux copépodes, on compte 4 espèces de la famille des cyclopidae, *Mesocyclops salinus* présentant un taux d'occurrence de plus de 70% quelle que soit la phase de l'étude dans E1, E2 et ET. Les larves nauplii ont été récoltées à plus de 70% dans chaque plan d'eau.

En ce qui concerne la contribution spatiale (Fig. 26) des taxons zooplanctoniques à la richesse spécifique enregistrée, pendant la phase de démarrage le plus grand nombre d'espèces de rotifères est identifié dans E1 (31 espèces) et le plus petit nombre dans ET (24 espèces). Il en est de même pour les cladocères (4 espèces dans E2 et 2 espèces dans ET). L'étang ET compte 3 espèces de copépodes alors que chaque étang paysan en compte moins (2 espèces dans E3 et 1 espèce seulement dans E2 et E1) (Fig. 26 B). Quand on considère le cycle complet d'élevage, ces observations sont les mêmes sauf dans le cas des rotifères où le plus grand nombre d'espèces figure plutôt dans E3 (36 espèces) et le plus petit nombre bien qu'observé toujours dans ET est de 28 espèces (Fig. 26 A). Il y va de ces observations que les Rotifères dominant largement les autres taxa quels que soient le plan d'eau et la phase d'étude.

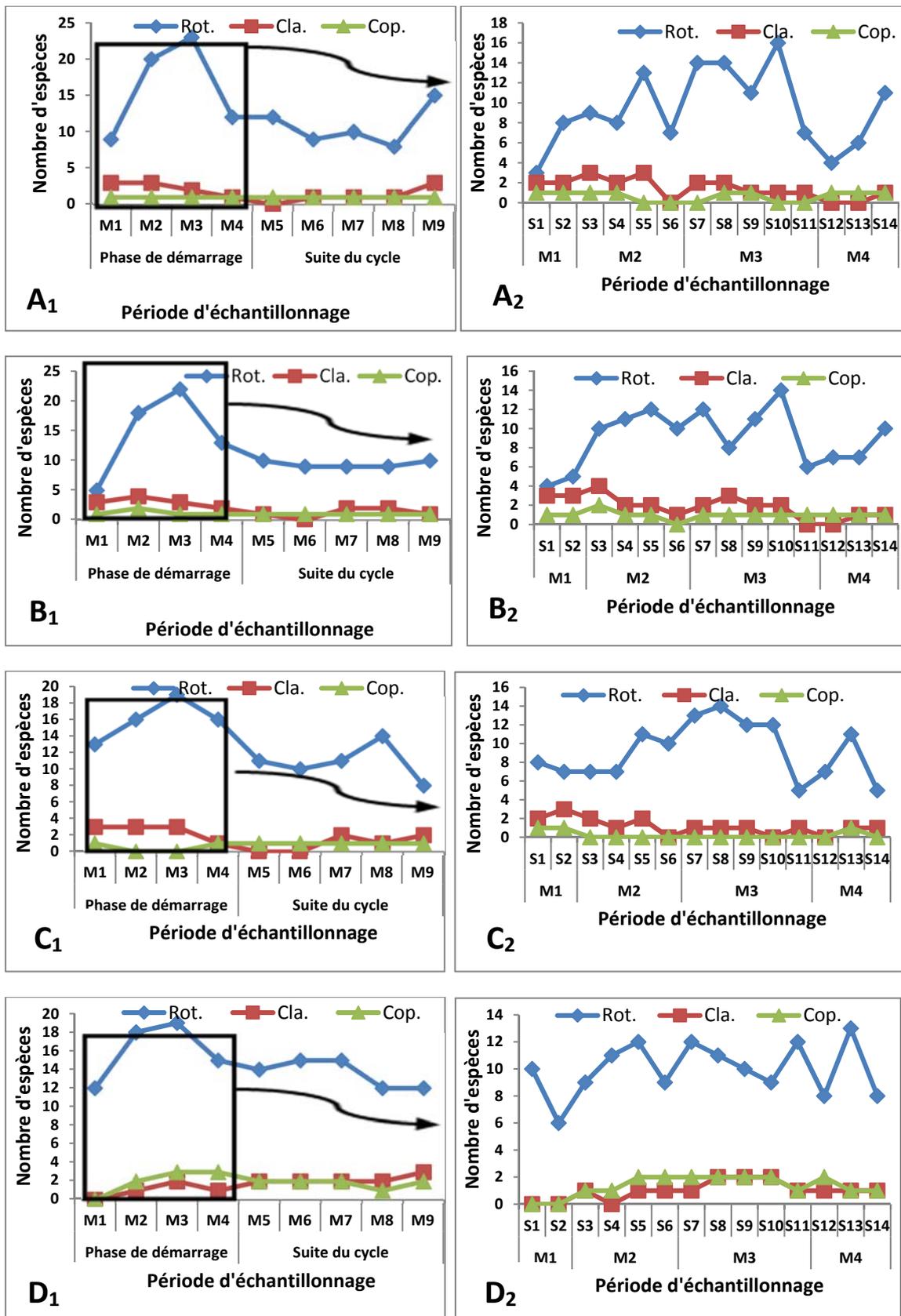


**Figure 26:** Richesse spécifique des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet de l'élevage (A) et détail à la phase de démarrage (B).

La variation spatio-temporelle de la richesse spécifique du Zooplancton est remarquable. Le nombre d'espèces obtenues varie globalement de 29 à 35 au démarrage et de 34 à 41 pour le cycle complet, l'étang témoin ET comptant moins d'espèces et l'étang E3 plus d'espèces quelle que soit la phase d'étude. En effet, au cours du démarrage, la richesse spécifique oscille entre 5 et 17 dans E1, 7 et 17 dans E2, 13 et 34 dans E3, 6 et 15 dans ET (fig. 27 B). Elle est comprise entre 11 et 26 dans E1, 9 et 26 dans E2, 11 et 22 dans E3 et 12 et 24 dans ET lorsqu'on considère le cycle complet d'élevage (Fig. 27 A). Toutefois, les valeurs les plus fortes sont relevées dans tous les plans d'eau au troisième mois d'élevage correspondant au mois de mai et précisément à la huitième semaine pour E1 et ET, à la dixième semaine pour E2 et E3.



**Figure 27 :** Variation spatio-temporelle de la richesse spécifique du zooplancton au cours du cycle complet (A) d'élevage et détail à la phase de démarrage (B)



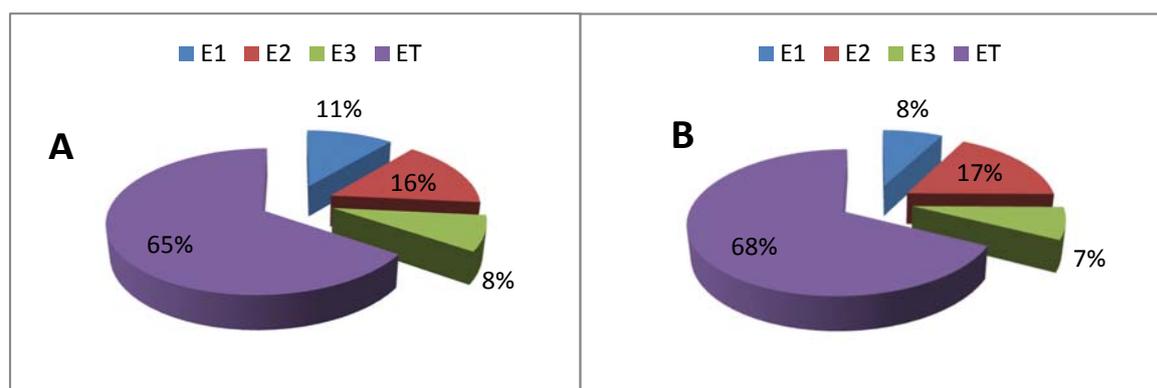
**Figure 28:** Variation spatio-temporelle de la richesse spécifique des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet (A1, B1, C1, D1) et détail à la phase de démarrage (A2, B2, C2, D2) pour les étangs E1 (A), E2 (B), E3 (C) et ET (D).

Concernant la variation spatio-temporelle de la richesse spécifique de chaque taxon de zooplancton, les rotifères dominent largement quel que soit le prélèvement, le plan d'eau ou la période d'étude alors que les cladocères et les copépodes présentent une richesse spécifique faible et proche. La variation de la richesse spécifique chez ces derniers taxa est très peu importante. Cependant, chez les rotifères, la variation de la richesse spécifique est très importante ; les valeurs les plus fortes ont été relevées au troisième mois d'élevage dans tous les plans d'eau (Fig. 28) précisément à la dixième semaine dans E1 et E2 (Fig. 28 A<sub>2</sub> et B<sub>2</sub>), à la huitième semaine dans E3 (Fig. 28 C<sub>2</sub>) et à la treizième semaine dans ET (Fig. 28 D<sub>2</sub>).

### III.1.2.1.2. Abondance du zooplancton

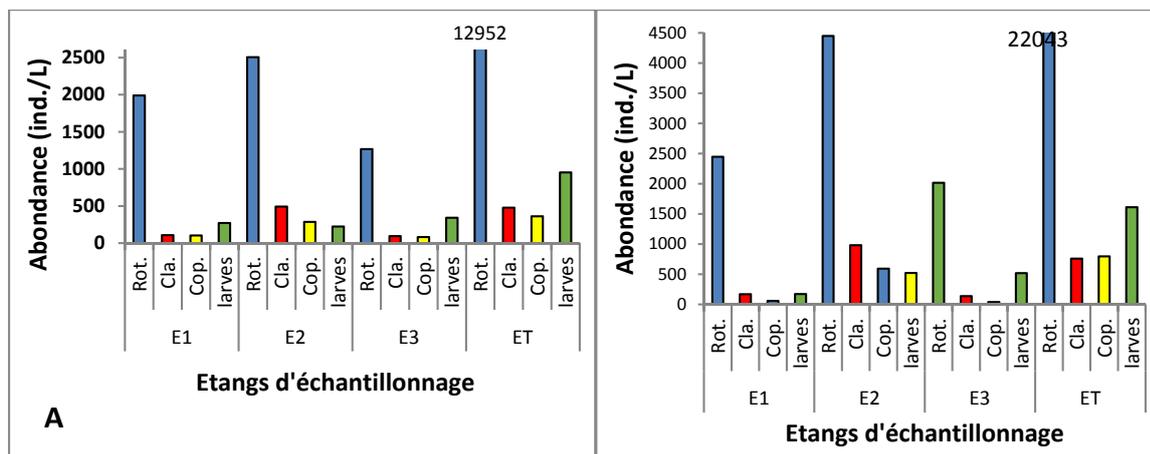
#### III.1.2.1.2.1. Distribution spatiale des abondances de la communauté zooplanctonique

Au cours de cette étude, 37317 individus et 22514 individus au total ont été dénombrés respectivement au démarrage et pendant le cycle complet de l'élevage. La figure 29 révèle que 65% de cette abondance provient de ET durant le cycle complet (Fig. 29 A), cet étang contribuant déjà à 68% à l'abondance pendant la phase de démarrage (Fig. 29 B).



**Figure 29** : Répartition spatiale de l'abondance zooplanctonique totale au terme du cycle complet de l'élevage (A) et détail à la phase de démarrage (B)

En ce qui concerne la contribution spatiale des taxa zooplanctoniques (Fig. 30) à l'abondance totale décrite dans cette étude, les rotifères sont les plus contributifs quelle que soit la phase d'élevage ou le plan d'eau, avec au moins 67% (soit 1268 ind./L dans E3) d'abondance, le taxon le moins contributif dans les étangs paysans étant les copépodes avec au trop 9 % (soit 268 ind./L dans E2) d'abondance. Quant à l'étang témoin ET, les cladocères contribuent le moins (3% soit 759 ind./L) au démarrage (Fig. 30 B) et les copépodes le font autant (2% soit 362 ind./L) au cycle complet de l'élevage (Fig. 30 A).

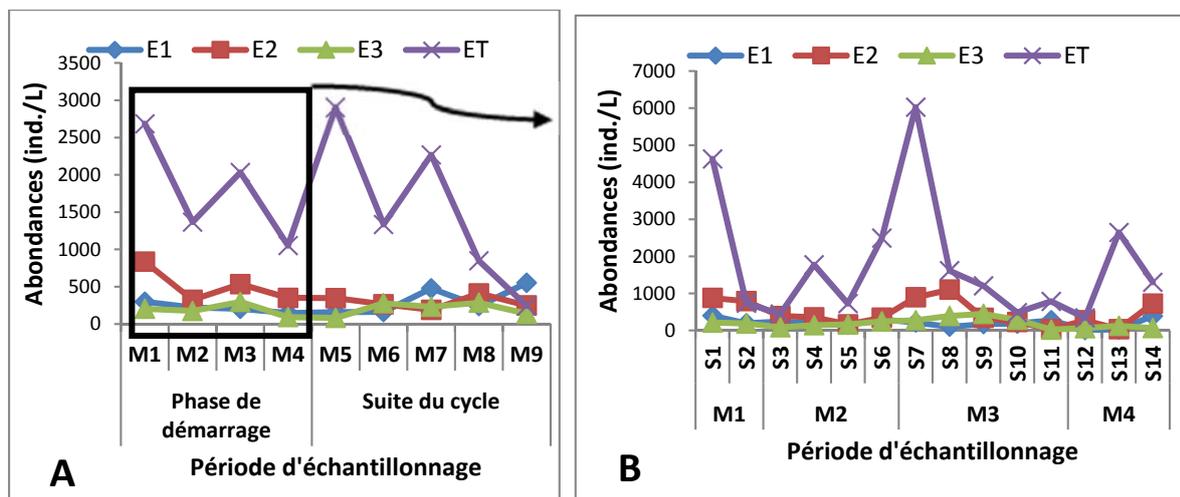


**Figure 30** : Abondance totale des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet de l'élevage (A) et détail à la phase de démarrage (B)

### III.1.2.1.2.2. Variation spatio-temporelle des abondances de la communauté zooplanctonique

Les profils de variation spatio-temporelle des abondances totales du zooplancton se présentent en dents de scie dans l'étang ET et l'étang E2 quelle que soit la phase d'échantillonnage. ET présente des pics au premier mois d'élevage (près de 2500 ind./L avec la forte contribution de la première semaine d'élevage où le nombre d'individus est de plus de 4500 ind./L), au troisième mois (près de 2000 ind./L avec une très forte contribution de la septième semaine qui compte plus de 6000 ind./L), au cinquième (près de 3000 ind./L) et au septième mois (plus de 2000 ind./L). L'étang E2 aussi présente de légers pics au premier mois (836 ind./L) et au troisième mois d'élevage (en moyenne 500 ind./L avec une forte contribution de la huitième semaine qui compte 1101 ind./L).

Des observations contraires sont faites dans les étangs E1 et E3 où les profils d'abondances sont linéaires et presque constantes. Toutefois, dans la phase de démarrage (fig. 31 B), les abondances minimales enregistrées sont comprises entre 13 et 33 ind./L dans les étangs paysans et est de 341 ind./L dans l'étang ET alors que les abondances maximales sont de 400 ind./L dans E1, 1101 ind./L dans E2, 447 ind./L dans E3 et 6026 ind./L dans ET. Dans le cycle complet d'élevage (fig. 31 A), les valeurs minimales d'abondances sont de 149 ind./L dans E1, 190 ind./L dans E2, 82 ind./L dans E3 et 242 ind./L dans ET ; les valeurs maximales étant de 553 ind./L, 836 ind./L, 298 ind./L et 2913 ind./L respectivement dans E1, E2, E3 et ET.



**Figure 31** : Variation spatio-temporelle de l'abondance zooplanctonique totale au cours du cycle complet de l'élevage (A) et détail à la phase de démarrage (B)

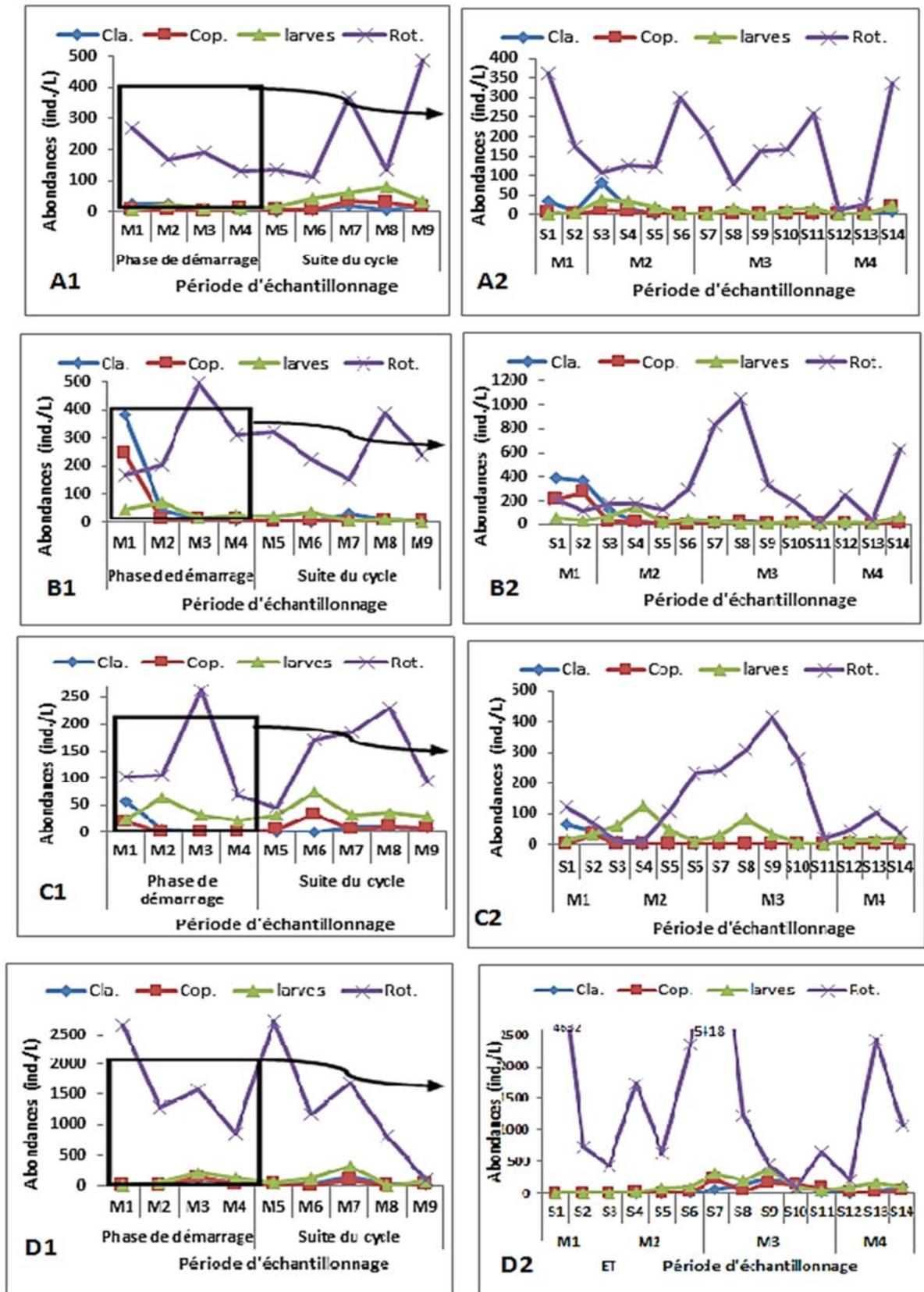
En ce qui concerne la contribution des taxa zooplanctoniques à la variation spatio-temporelle de l'abondance décrite ci-haut, les profils d'abondance des taxa évoluent différemment d'un plan d'eau à l'autre. Ainsi, dans E1 (fig. 32 A), la très forte contribution des rotifères est notée durant toute l'étude quel que soit le prélèvement avec une valeur maximale de 485 ind./L enregistrée au neuvième mois. Quant aux microcrustacés, si l'on excepte l'abondance de 82 ind./L enregistrée à la troisième semaine chez les cladocères, on observe une codominance entre les cladocères, les copépodes et les larves du début de l'élevage au cinquième mois (pendant tout le démarrage) avec des abondances de moins de 50 ind./L puis une légère dominance des larves nauplii tout le reste de temps (abondances atteignant 78 ind./L au huitième mois).

La figure 32 B présente la contribution temporelle des taxa de zooplancton à l'abondance enregistrée dans l'étang E2. On observe une très forte contribution des rotifères du deuxième mois d'élevage à la fin du cycle avec une valeur d'abondance très importante au troisième mois (497 ind./L) et précisément à la huitième semaine (1046 ind./L) du démarrage. Au premier mois d'élevage, les cladocères dominent tous les taxa et les larves nauplii présentent une abondance de près de 400 ind./L quelle que soit la semaine de prélèvement. Pendant tout le reste de temps d'élevage, les cladocères et les copépodes, bien que moins abondants par rapport aux rotifères, sont codominants. Dans ce plan d'eau, les larves sont peu importantes avec une abondance ne dépassant pas 149 ind./L quel que soit le prélèvement.

Dans l'étang E3 (fig. 32 C), les rotifères dominent pendant tout le cycle d'élevage et présentent une abondance maximale de 263 ind./L enregistrée pendant le troisième mois d'élevage marqué par la neuvième semaine où la valeur de l'abondance a atteint 413 ind./L.

Les rotifères sont suivis par les larves nauplii dont l'abondance maximale est enregistrée lors du deuxième mois (63 ind./L) et précisément à la quatrième semaine du démarrage (129 ind./L). Quant aux Cladocères et Copépodes, ils sont peu abondants et ne dépassent pas 67 ind./L quel que soit le prélèvement. Toutefois, un renversement de dominance entre les larves nauplii et les rotifères est observé de la troisième à la quatrième semaine où les larves dominent dans tout le plan d'eau.

En ce qui concerne l'étang témoin ET (Fig. 32 D), les Rotifères contribuent de façon spectaculaire dans 70% d'échantillons. Ils présentent des pics d'abondances remarquables au cours du premier mois d'élevage (2686 ind./L) déterminés principalement par la première semaine (4632 ind./L) et au cinquième mois (2753 ind./L). L'abondance des rotifères la plus élevée est enregistrée à la septième semaine (5418 ind./L). Quant aux microcrustacés et aux larves nauplii, ils ont été absents les deux premières semaines et restent peu contributifs pendant toute la période de l'élevage avec des valeurs d'abondance maximale de moins de 400 ind./L quelle que soit la phase d'élevage.



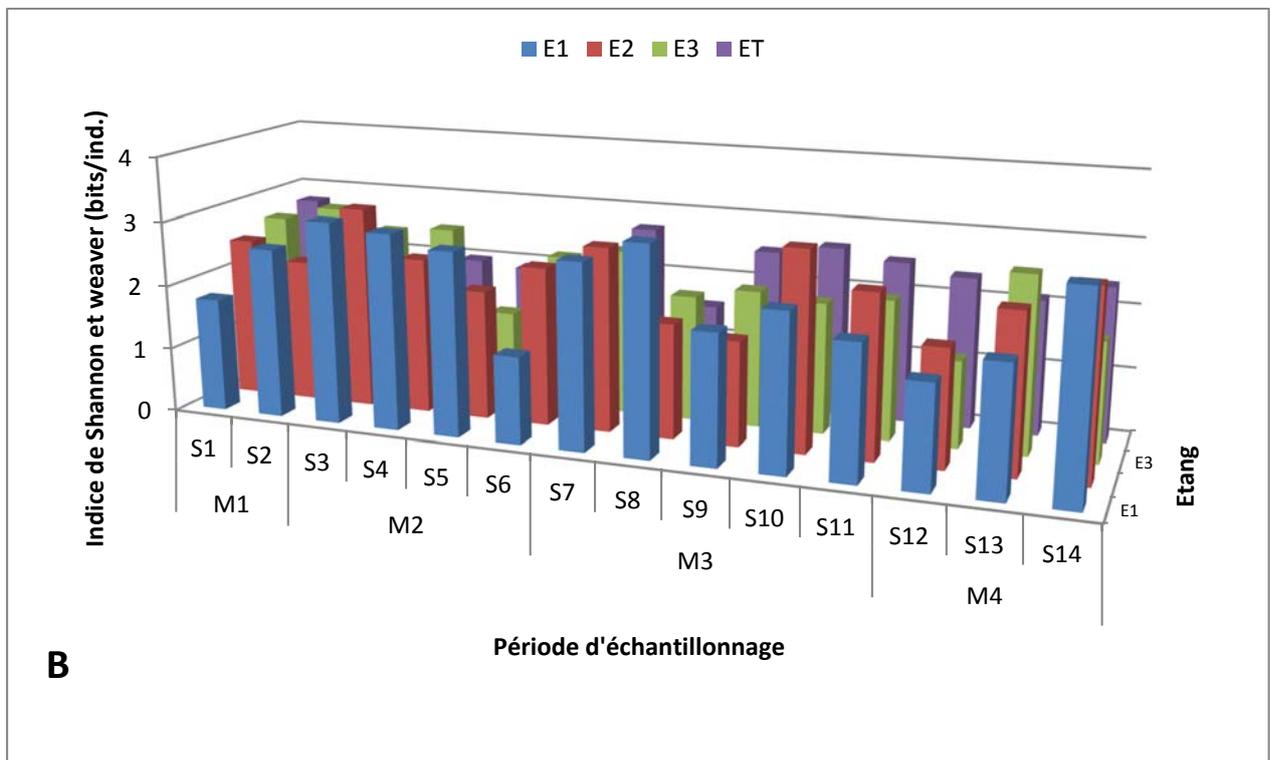
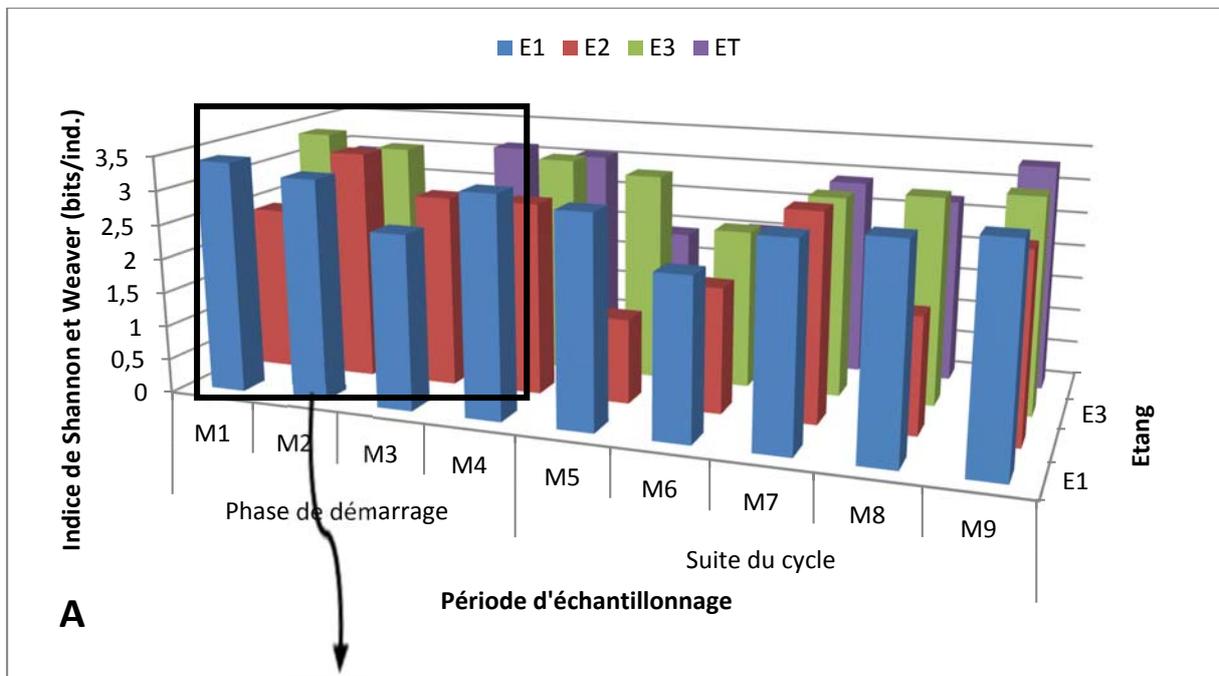
**Figure 32 :** Variation spatio-temporelle de l'abondance des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet de l'élevage (A1, B1, C1, D1) et détail à la phase de démarrage (A2, B2, C2, D2) pour les étangs E1 (A), E2 (B), E3 (C) et ET (D)

### III.1.2.1.3. Structure du peuplement zooplanctonique

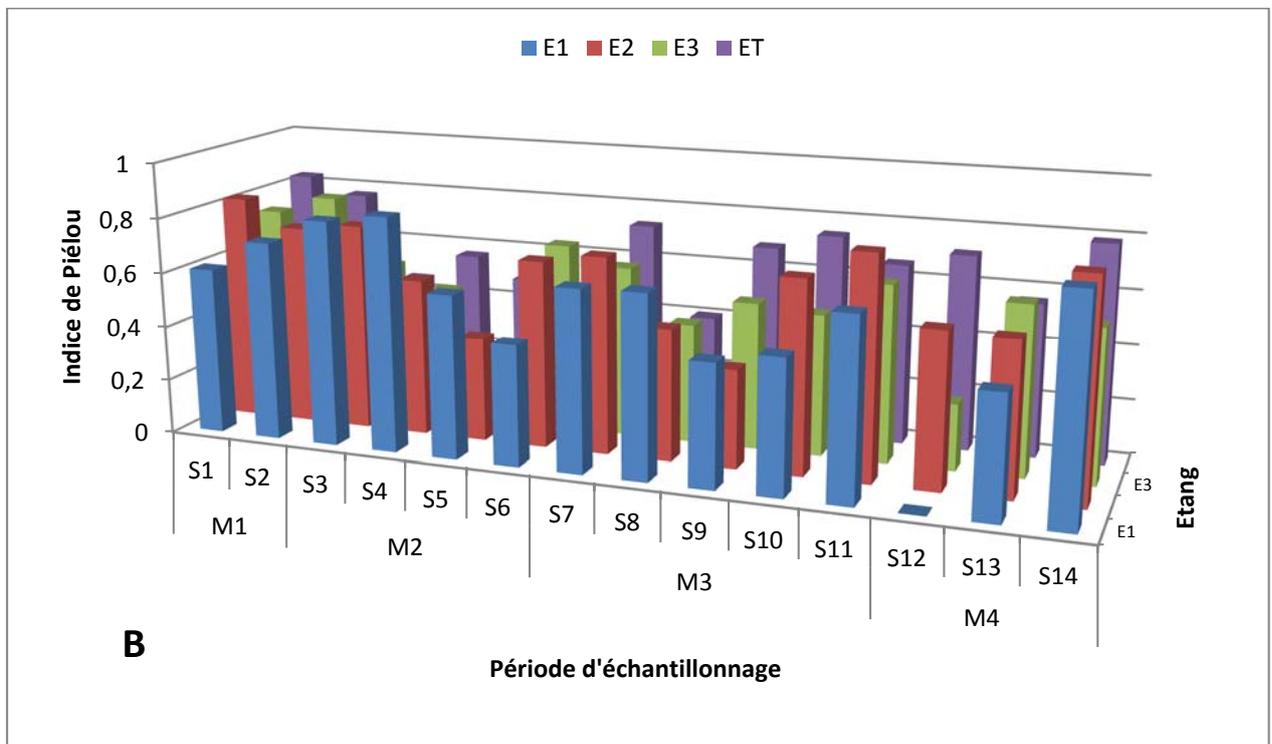
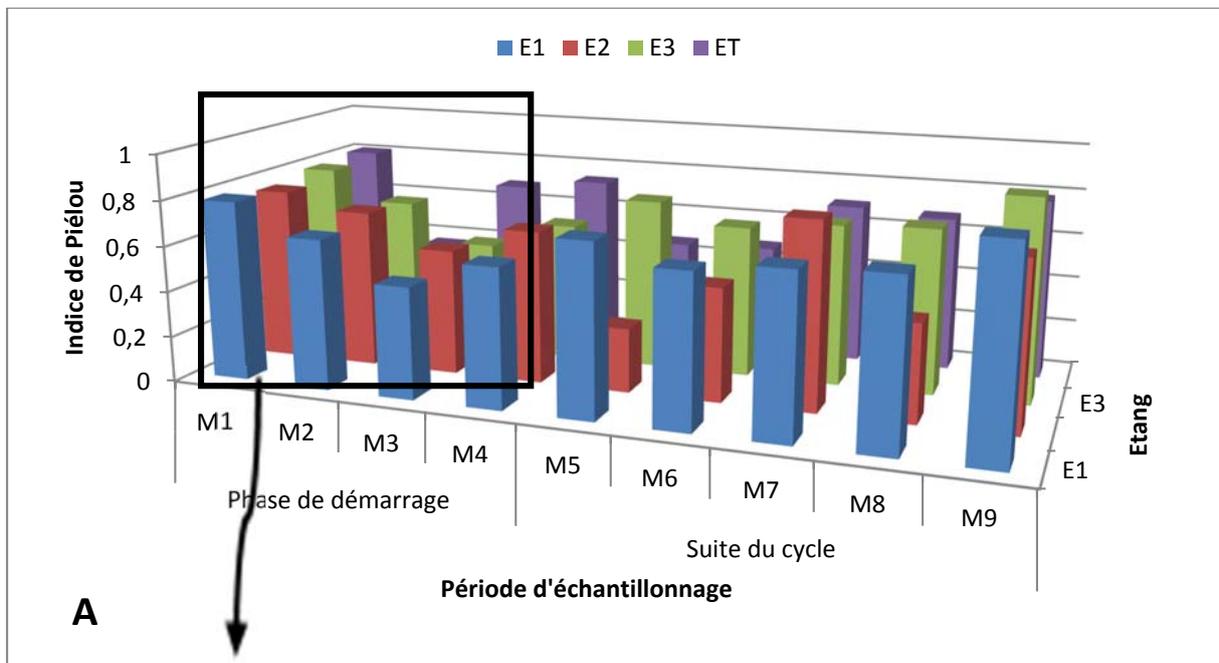
#### III.1.2.1.3.1. Indice de diversité de Shannon et Weaver et indice d'équitabilité de Pielou

Lors du démarrage (Fig. 33 B), l'indice de Shannon et Weaver ( $H'$ ) présentait la plus faible valeur dans ET à la sixième semaine (0,7 bit/ind.) et la plus forte valeur dans E1 à la première semaine (3,19 bit/ind.). Pendant le cycle complet (Fig 33 A), la plus faible valeur de  $H'$  est enregistrée dans E2 (1,24 bit/ind.) au cours du cinquième mois et la valeur la plus forte le premier mois d'élevage dans E1 et E3 (3,39 bit/ind.). On note d'ailleurs une similarité entre les profils de E1 et E3, les valeurs de  $H'$  étant comprises entre 2,23 et 3,39 bit/ind. Quant aux profils de ET et E2, les valeurs de  $H'$  oscillent entre 1,24 et 3,37 bit/ind. Quels que soient le plan d'eau et la phase de l'élevage,  $H'$  varie de façon irrégulière et les valeurs moyennes sont comprises entre 2,12 bit/ind. (ET au démarrage) et 2,98 bit/ind. (E1 et E3 au cycle complet). Toutefois, lorsqu'on considère les deux phases de prélèvement, l'écart entre les moyennes de  $H'$  pour chaque plan d'eau est croissante quand on va de E2 (0,03 bit.ind.) à E3 (0,75bit/ind.) passant par ET (0,5bit/ind.) puis E1 (0,57 bit/ind.). On en déduit que les étangs paysans ont plus d'espèces et moins d'individus que l'étang ET.

Les profils de l'équitabilité de Pielou sont très semblables à ceux de l'indice de Shannon et Weaver quels que soient le plan d'eau et la phase de prélèvement. Néanmoins, on observe à la douzième semaine, la dominance d'une seule espèce dans E1 ( $J= 0$ ). Dans l'ensemble, très peu de valeurs de  $J$  tendent à indiquer l'équirépartition ( $J > 0,8$ ) des individus au sein des espèces présentes dans le plan d'eau (Fig. 34).



**Figure 33** : Variation spatio-temporelle de l'indice de diversité de Shannon et de Weaver au cours du cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B).



**Figure 34** : Variation spatio-temporelle de l'indice d'équitabilité de Piérou au cours du cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B)

### III. 1.2.1.3.2. Indice de similarité de Sørensen

Le tableau XIII présente le taux de rapprochement entre la biocénose des étangs piscicoles pris deux à deux.

**Tableau XIII** : Variation temporelle de l'indice de Sørensen au cours du cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Moyenne
E1 -E2	72,7	79,1	84,4	80	56	66,6	75	54,5	58	69,5
E1 -E3	73,3	69,7	66,6	43,7	80	54,5	76,9	61,5	63,3	65,5
E1 - ET	24	96	86,6	72,7	51,6	60	58	56	38,8	60,4
E2 - E3	69,2	60,4	62,5	47	58,3	66,6	76,9	71,4	60,8	63,6
E3 - ET	27,5	35	39,1	37,8	53,3	40	48,8	58	42,8	42,4
E2 - ET	19	96	52	60	53,3	62	51,6	44,4	55,1	54,8

(A) Cycle complet avec M = mois

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	Moyenne
E1 -E2	71,4	50	62	80	32,2	66,6	58	68,9	74	64,7	40	61,5	50	72	60,8
E1 -E3	40	38	28,5	38,4	38,2	16	42,5	39,1	35	31,3	17,3	22,2	17,3	15,7	29,9
E1 - ET	12,5	35,2	33,3	43,4	38,7	52,6	32,2	37,5	51,8	46,6	45,4	50	36,3	52,1	40,5
E2 - E3	63,6	41,3	31,1	25,6	39,1	34,4	26	29,2	29,2	27,4	18,1	19	48	10,8	31,6
E3 - ET	16,6	7,7	20	5,4	13	13,3	13	22,7	24,3	12,7	13,7	16,6	32,2	5,7	15,4
E2 - ET	22,2	26,6	37	46,1	40	43,4	46,6	44,4	42,8	46,6	38	52,6	33,3	45,4	40,3

(B) Phase de démarrage avec S = semaine

Les étangs E1 et E2 sont biocénotiquement proches à au moins 50% si l'on excepte la cinquième et la onzième semaines de prélèvement, bien qu'à aucun moment ce rapprochement ne dépasse 80%. Par contre, E3 et ET le sont à au plus 58%, ce rapprochement étant très insignifiant durant toute la période de démarrage (Tableau XIII B) où l'on a même des valeurs de l'indice de Sørensen de 5%. A partir du cinquième mois d'élevage jusqu'à la fin du cycle (Tableau XIII A), on note globalement que l'indice de Sørensen fluctue très peu et est la plupart de temps supérieur à 50% entre E2 et ET et entre E1 et ET. Toutefois, pendant la phase de démarrage, cet indice varie de façon irrégulière et présente parfois de très fortes valeurs (96% entre E2 et ET et entre E1 et ET au deuxième mois par exemple) bien que de valeurs assez faibles soient détectées au premier mois (19% entre E2 et ET et 24% entre E1 et ET). Au terme de l'élevage (tableau 17B), les étangs paysans sont biocénotiquement proches à plus de 63% alors que ET se rapproche de E1 à 60% et de E2 à 54,8%.

### III.1.2.1.4. Analyse comparée de la richesse spécifique et de l'abondance du zooplancton des étangs

L'analyse des variances ANOVA et le test de comparaison de post Hoc Descheffe ont été appliqués sur les relevés faunistiques des étangs pris en compte dans cette étude.

**Tableau XIV** : Résultat de l'analyse des variances ANOVA et du test « t » de Student appliquée sur la richesse spécifique et l'abondance.

		Richesse spécifique				Abondance				
		total	rotifère	Cladocère	Copépode	totale	rotifère	Cladocère	Copépode	larves
Phase de démarrage	E1-E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E1-E3	P=0,000	-	-	P= 0,010	-	-	-	-	-
	E1-ET	-	-	-	-	P = 0,000	P = 0,001	-	-	P = 0,001
	E2-E3	P= 0,000	-	-	P=0,004	-	-	-	-	-
	E2-ET	-	-	-	-	P =0,002	P = 0,003	-	-	P = 0,018
	E3-ET	P =0,000	-	-	P =0,000	P = 0,000	P =0,0001	-	-	P = 0,018
Cycle complet	E1-E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E1-E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E1-ET	-	-	-	P= 0,015	P =0,000	P = 0,000	-	-	-
	E2-E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E2-ET	-	-	-	P=0,040	P =0,000	P = 0,000	-	-	P= 0,034
	E3-ET	-	-	-	P =0,002	P =0,000	P = 0,000	-	-	-

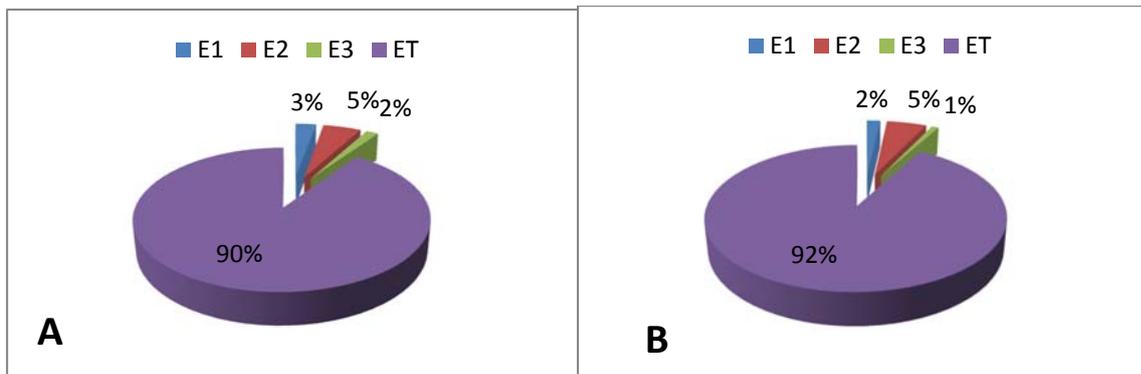
P = p value et (-) = pas de différence significative

Il ressort des résultats de ces analyses (tableau XIV) qu'il existe uniquement à la phase de démarrage, une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ) de richesse spécifique totale entre E3 et tous les autres plans d'eau, laquelle différence est l'œuvre des copépodes. Parlant de l'abondance du zooplancton, on note une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ) d'abondance entre les étangs paysans et l'étang ET, laquelle différence est l'effort conjugué des rotifères et des larves de copépodes quelle que soit la phase d'élevage.

### III.1.2.2. Biomasse zooplanctonique

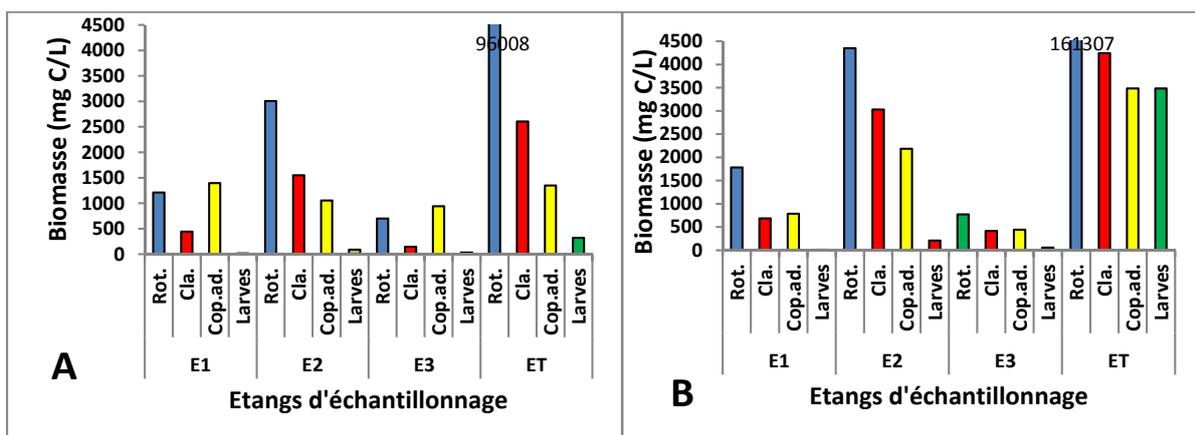
#### III.1.2.2.1. Biomasse totale de la communauté zooplanctonique

Les biomasses totales de 184332,5 mgC/L et 110867,4 mgC/L ont été respectivement enregistrées dans les plans d'eau au démarrage et pendant le cycle complet de l'élevage. La figure 35 A révèle que 90% de cette biomasse a été récoltée dans l'étang ET durant tout le cycle d'élevage. Au terme des trois premiers mois d'élevage, cet étang contribuait pour 92% à la biomasse totale (Fig. 35 B).



**Figure 35 :** Répartition spatiale de la biomasse totale de la communauté zooplanctonique au cours du cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B).

En ce qui concerne la contribution spatiale des taxa zooplanctoniques (Fig. 36 A et B) à la biomasse totale décrite dans cette étude, les rotifères sont les plus grands contributeurs à la phase de démarrage quel que soit l'étang avec une représentativité de 45% dans E2 et E3, 54% dans E1 et 95% dans ET. Cependant, au cours du cycle complet, ce taxon domine uniquement dans E2 (52,7%) et dans ET (95,7%), les copépodes étant les plus grands contributeurs dans E1 (45,5%) et dans E3 (51,8%). Pour les microcrustacées, les copépodes contribuent à la biomasse plus que les cladocères dans E1 (24% contre 21% au démarrage et 45,5% contre 14% au cycle complet) et dans E3 (26,2% contre 24,6% au démarrage et 51,8% contre 7,9% au cycle complet) alors que le contraire est observé dans E2 (22,3% contre 31% au démarrage et 18,4% contre 27,1% au cycle complet) et ET (2% contre 2,5% au démarrage et 1,3% contre 2,5% au cycle complet). La contribution des copépodes au stade larvaire est très faible mais pas nulle quels que soient la phase et le plan d'eau.

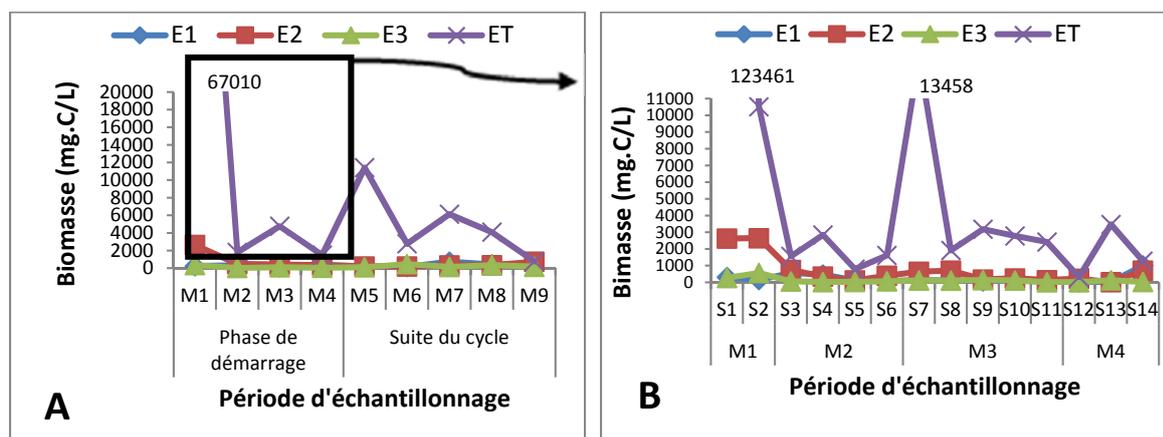


**Figure 36 :** Variation spatiale de la biomasse des taxa zooplanctoniques au terme du cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B).

### III.1.2.2.2. Variation spatio-temporelle de la biomasse de la communauté zooplanctonique

Le profil de variation spatio-temporelle des biomasses totales du zooplancton se présente en dents de scie dans l'étang ET quelle que soit la phase d'échantillonnage. ET présente des pics de biomasse lors du premier mois d'élevage (près de 67010 mg C/L avec la forte contribution de la première semaine d'élevage qui enregistre 123461mg C/L), au troisième mois (4768 mg C/L avec une très forte contribution de la septième semaine qui présente 13458 mg C/L), et au cinquième (11420 mg C/L). Lorsqu'on excepte le premier mois d'élevage (2643mg C/L) dans l'étang E2, des observations contraires sont faites dans les étangs paysans où les profils de biomasses sont linéaires et presque constants, aucune valeur de biomasse ne dépassant 1000 mg C/L (fig. 37 A et B).

Toutefois, au cours de la phase de démarrage (Fig. 37 B), les biomasses minimales enregistrées sont comprises entre 12,9 mg C/L (onzième semaine dans E3) et 24,9 mg C/L (treizième semaine dans E2) dans les étangs paysans alors que la biomasse minimale est de 317,2 mg C/L (douzième semaine) dans l'étang ET. En ce qui concerne les biomasses maximales, elles sont de 1011 mg C/L (quatorzième semaine) dans E1, 2149 mg C/L (deuxième semaine) dans E2, 566 mg C/L (deuxième semaine) dans E3. Dans le cycle complet d'élevage (Fig. 37 A), les valeurs minimales de biomasses sont de 119 mg C/L (troisième mois) dans E1, 200 mg C/L (sixième mois) dans E2, 40 mg C/L (deuxième mois) dans E3 et 781 mg C/L (neuvième mois) dans ET ; les valeurs maximales étant de 748 mg C/L, 2643 mg C/L, 474 mg C/L et 67010 mg C/L respectivement dans E1, E2, E3 et ET.



**Figure 37 :** Variation spatio-temporelle de la biomasse zooplanctonique totale pendant le cycle complet (A) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (B).

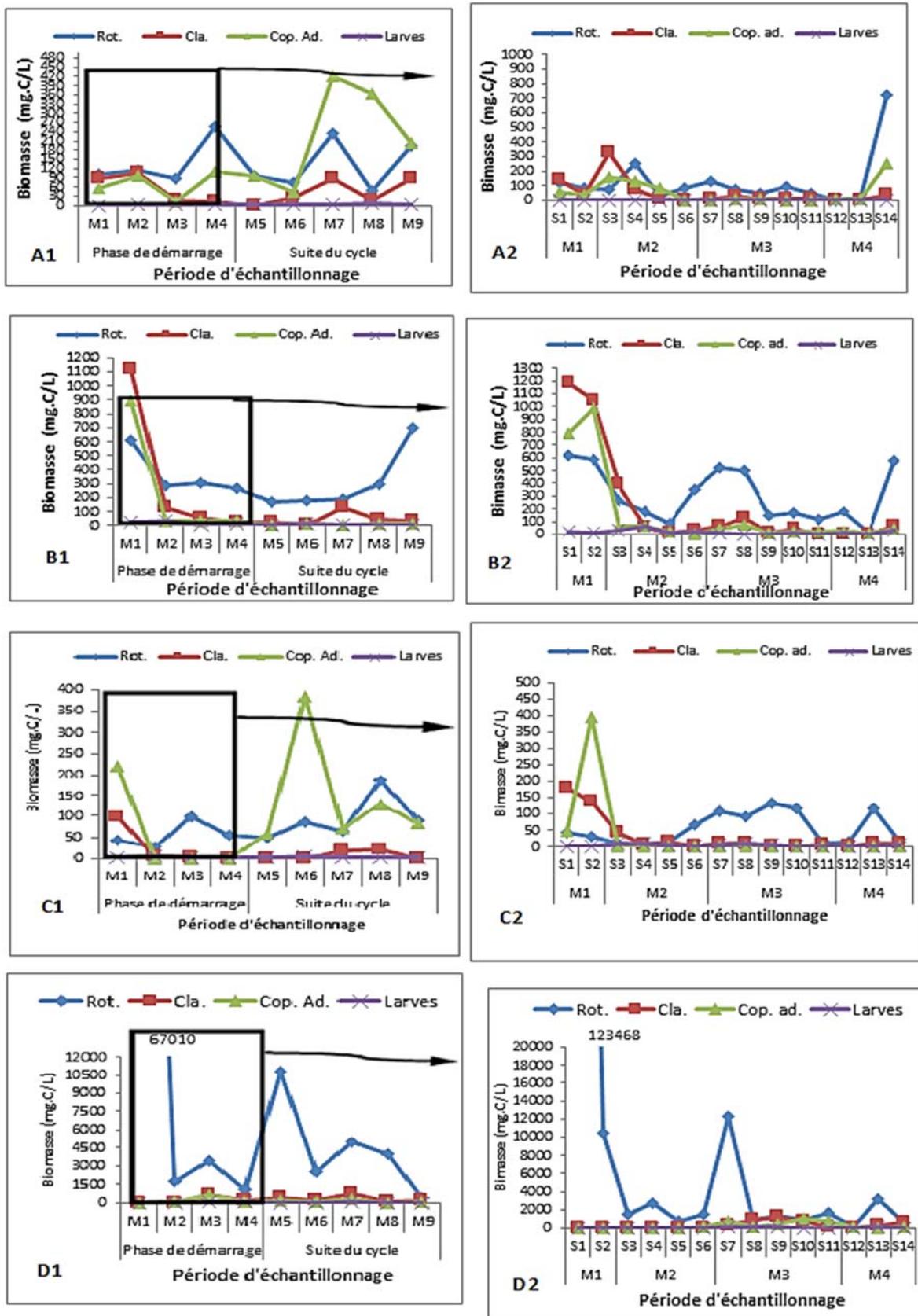
En ce qui concerne la contribution des taxa zooplanctoniques à la variation spatio-temporelle des biomasses décrite ci-haut, les profils de biomasses des taxa évoluent différemment d'un plan d'eau à l'autre. Ainsi dans E1 (Fig. 38 A1), les rotifères dominent les

six premiers mois d'élevage et sont remplacés pour la suite du cycle par les copépodes qui présentent un pic de biomasse au septième mois (420 mgC/L). Les cladocères apparaissent donc comme les moins contributifs pendant le cycle complet d'élevage et présentent néanmoins un pic de biomasse non négligeable (324 mg C/L) à la troisième semaine du démarrage (Fig. 38 A2).

La figure 38 (B1 et B2) présente la contribution spatio-temporelle de ces taxa à la biomasse zooplanctonique dans l'étang E2. On observe une très forte contribution des rotifères du deuxième mois d'élevage à la fin du cycle avec une biomasse maximale le neuvième mois (696 mg C/L). Le premier mois d'élevage, les cladocères dominent tous les taxa et les larves nauplii et présentent une biomasse de plus de 1000 mg C/L quelle que soit la semaine de prélèvement. Ils sont suivis par les copépodes (899mg C/L), puis les rotifères (609 mg C/L) et enfin les larves de copépodes (< 27 mgC/L). Pendant tout le reste de temps d'élevage, les cladocères et les copépodes, bien que moins représentatifs par rapport aux rotifères, sont codominants. Toutefois, les cladocères présentent le septième mois un léger pic de biomasse de 130,2 mg C/L. Dans ce plan d'eau, les larves sont peu importantes avec une biomasse ne dépassant pas 27 mg C/L quel que soit le prélèvement.

Dans l'étang E3 (Fig. 38 C1 et C2), les profils de biomasse des rotifères et copépodes sont enchevêtrés. Au cours des deux premières semaines (premier mois) d'élevage, les copépodes (395,7 mgC/L) suivis des cladocères (178,5 mgC/L) sont dominants alors que les rotifères sont les plus contributifs à la biomasse zooplanctonique durant tout le démarrage, puis on observe un renversement de la situation entre le cinquième et le septième mois où les copépodes dominent et présentent un pic important au sixième mois (384 mgC/L) et enfin les rotifères retrouvent leur place de taxon dominant pour le reste de temps. Quant aux cladocères, ils restent peu contributifs pendant toute la période de l'élevage.

En ce qui concerne l'étang témoin ET (Fig. 38 D1 et D2), les rotifères contribuent permanemment de façon importante et présentent des pics de biomasses le premier mois d'élevage (97010 mg C/L déterminé principalement par la première semaine 123468 mg C/L) et le cinquième mois (10799 mg C/L). On observe aussi un léger pic de biomasse le troisième mois (3382 mgC/L déterminé par la biomasse de la septième semaine 12271 mg C/L). Quant aux microcrustacés et les larves de copépodes, ils ont été absents les deux premières semaines et restent peu contributifs pendant toute la période de l'élevage avec des valeurs de biomasse maximales de moins de 1250 mg C/L quels que soient le prélèvement et la phase d'élevage.



**Figure 38 :** Variation spatio-temporelle de la biomasse des taxa zooplanctoniques au cours du cycle complet de l'élevage (A1, B1, C1, D1) et détail à la phase de démarrage (A2, B2, C2, D2) pour les étangs E1 (A), E2 (B), E3 (C) et ET (D).

### III.1.2.2.3 Analyse comparée de la biomasse zooplanctonique des plans d'eau étudiés

L'analyse des variances ANOVA et le test de comparaison « t » de Student ont été appliqués sur les relevés de la biomasse du zooplancton des étangs étudiés.

**Tableau XV** : Résultat de l'analyse des variances ANOVA et du test « t » de Student appliqué sur la biomasse.

		Démarrage						Cycle complet					
		E1-E2	E1-E3	E1-ET	E2-E3	E2-ET	E3-ET	E1-E2	E1-E3	E1-ET	E2-E3	E2-ET	E3-ET
Biomasse	totale	-	-	-	P=0,020	-	-	-	-	-	-	-	-
	rotifères	P=0,021	-	-	P=0,000	-	-	P=0,009	-	-	P=0,001	-	-
	cladocères	-	-	P=0,028	-	-	P=0,018	-	-	P=0,018	-	-	P=0,008
	copépodes	-	-	-	-	-	P=0,034	-	-	-	-	-	-
	larves	P=0,028	P=0,032	P=0,001	P=0,018	P=0,027	P=0,002	P=0,019	-	P=0,008	P=0,049	P=0,041	P=0,011

P = p value et (-) = pas de différence significative

Il ressort des résultats de ces analyses (tableau XV) qu'il n'existe pas de différence significative de biomasses entre E3 et E1 et que la différence de biomasse entre E2 et ET n'est significative ( $p < 0,05$ ) que pour les larves de copépodes ; ces observations sont faites quelle que soit la phase de l'élevage.

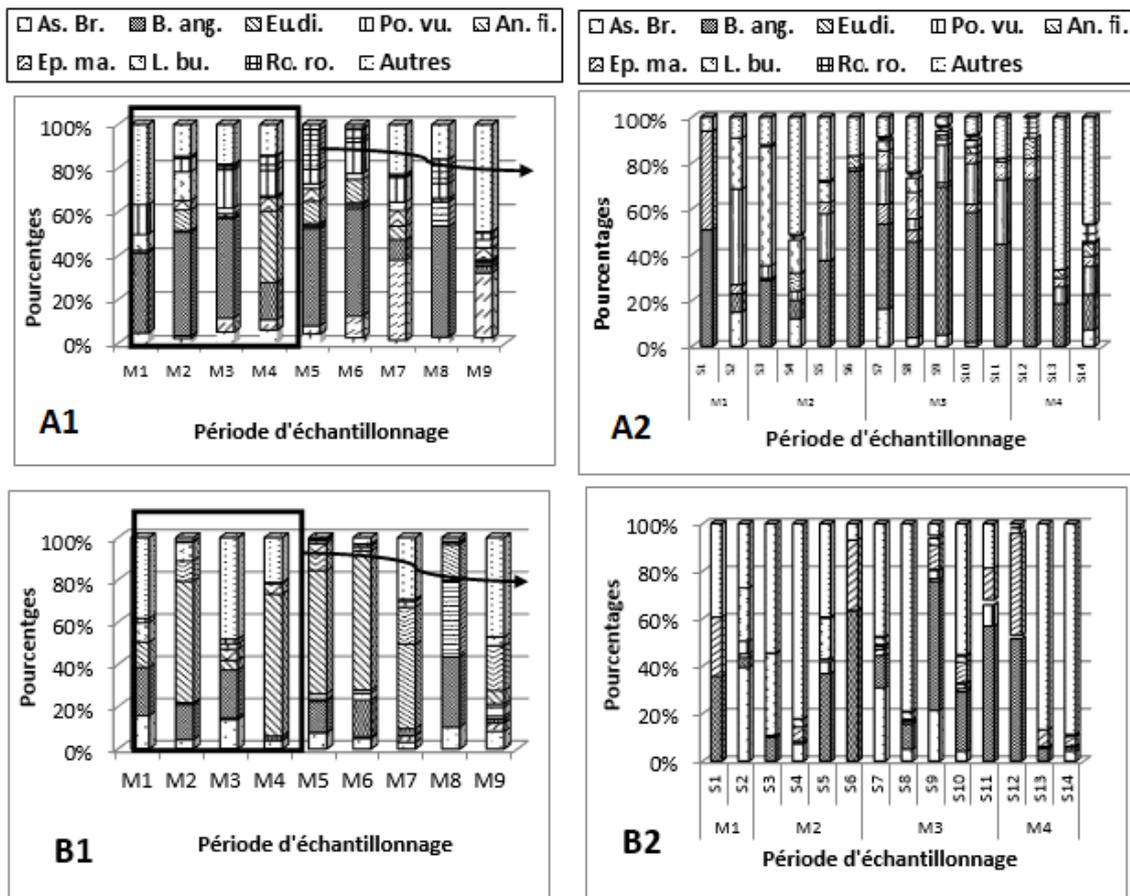
### III.1.2.3 Composition de la communauté zooplanctonique par groupes taxonomiques

#### III.1.2.3.1 Composition de la communauté rotiférienne dans les plans d'eau étudiés

A chaque prélèvement, la communauté de rotifères a été toujours composée de plusieurs espèces (plus de 10 espèces) quels que soient le plan d'eau et la phase d'élevage. Cependant, la contribution que chaque espèce apporte à l'abondance voire à la biomasse enregistrée est variable.

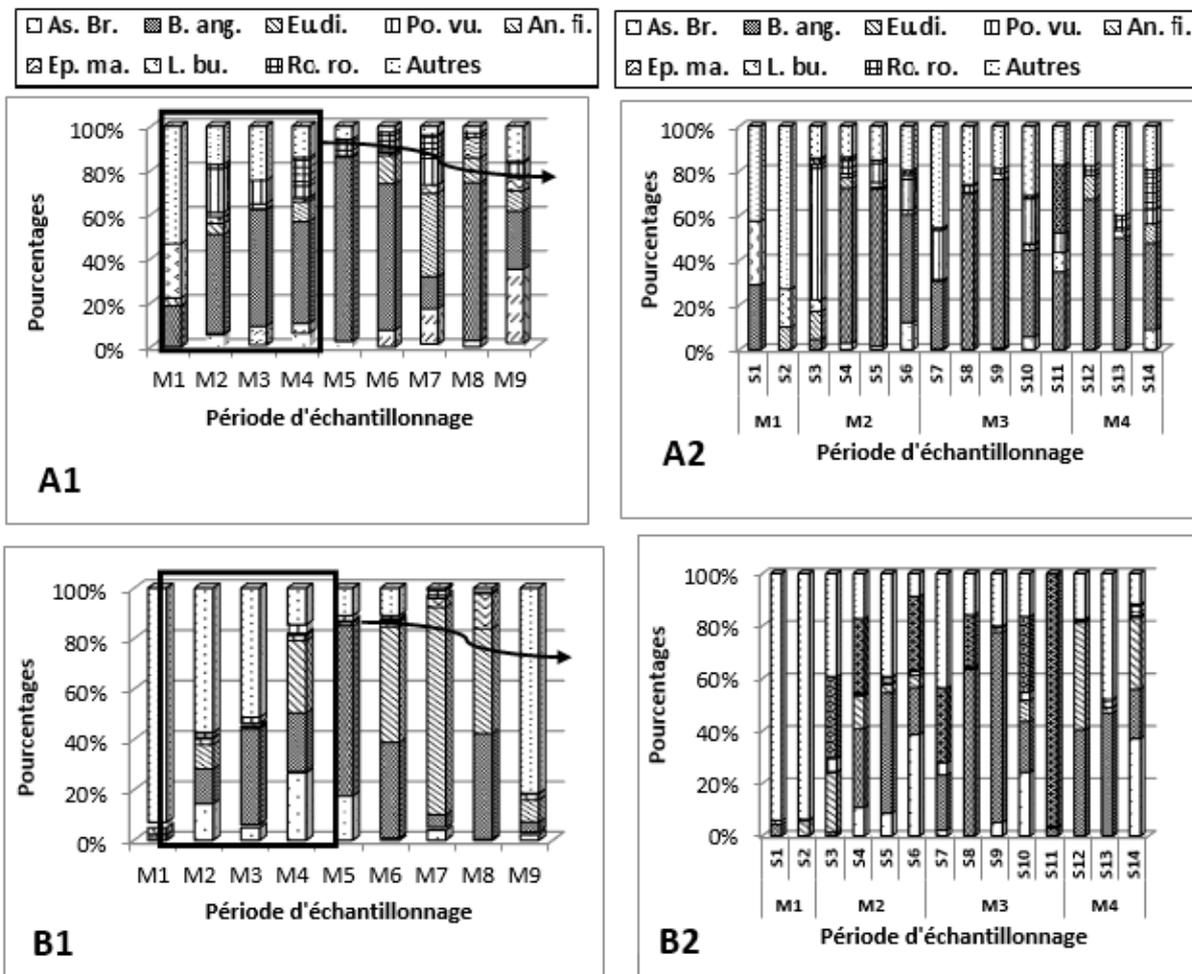
Dans l'étang E1 (Fig. 39), au cours du démarrage, 8 espèces sont fréquentes à plus de 70%. Parmi celles-ci, *Brachionus angularis* suivi de *Polyarthra vulgaris* puis de *Lecane bulla* sont les plus contributives en terme d'abondance (Fig. 39 A2). Cependant en termes de biomasse (Fig. 39 B2), on n'observe pas d'espèce vraiment dominante ; *Brachionus angularis* prospère plus la première et la sixième semaines et est accompagné pour le reste de temps par *Asplanchna brightwelli* (deuxième, septième et quatorzième semaines) et *Epiphanes macrourous* (quatrième et sixième semaine). Lorsqu'on considère le cycle complet, on a 9 espèces fréquentes dont 4 semblent codominer en terme d'abondance (Fig. 39 A1) à savoir *Brachionus angularis*, suivi de *Anuraeopsi fissa* puis de *Polyarthra vulgaris* et *Brachionus calyciflorus*. Cette dernière espèce est par contre l'espèce principale en terme de biomasse (Fig.39 B1) et est secondée par *Brachionus angularis* et *Epiphanes macrourous* qui

codominent. *Asplanchna brightwelli*, *Brachionus quadridentatus*, *Lecane bulla* et *Rotaria rotaria* ont été fréquentes mais peu contributives en terme d'abondance et de biomasse au cours du cycle complet.



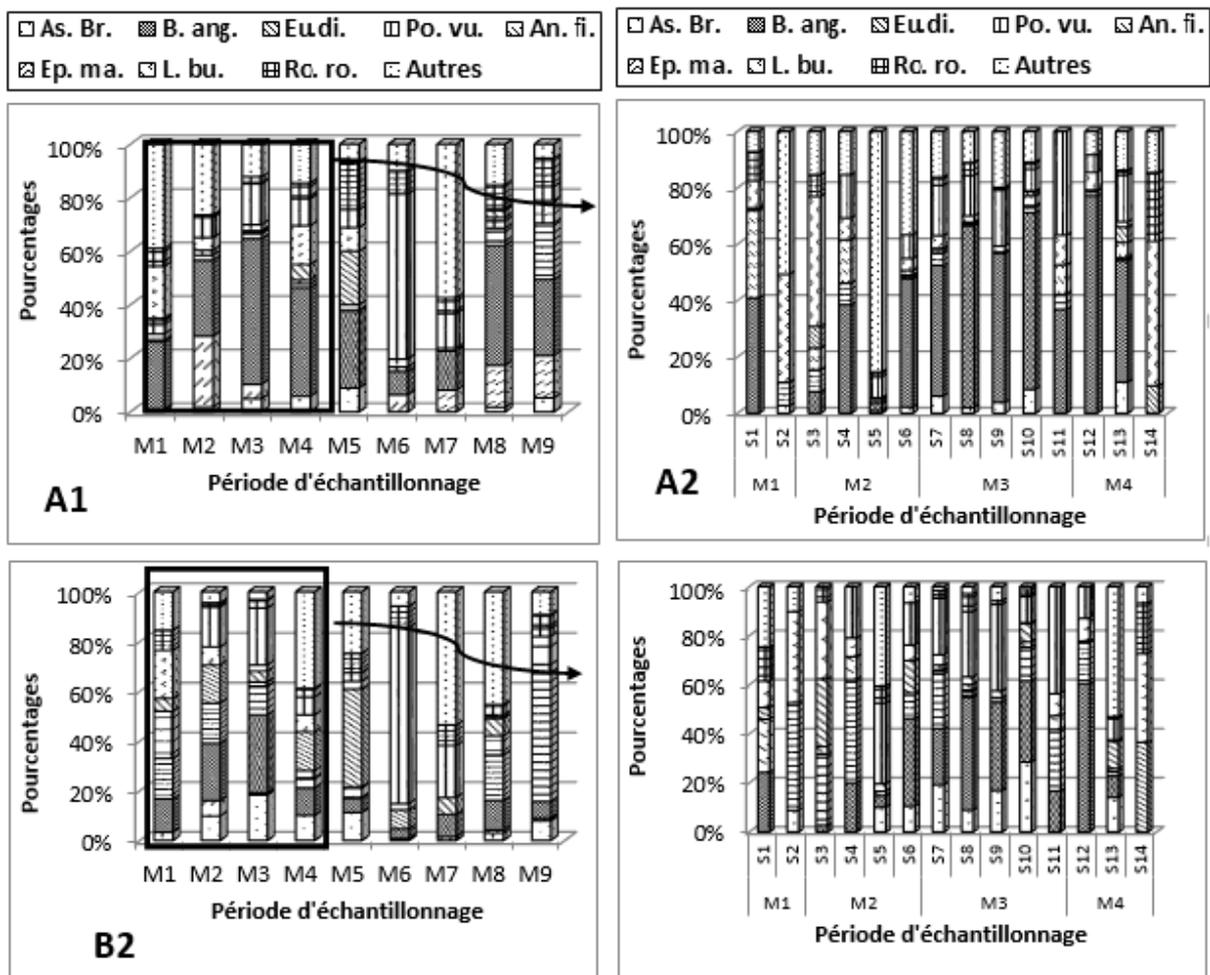
**Figure 39** : Abondance (A) et biomasse(B) relatives des Rotifères récoltés dans E1 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détail à la phase de démarrage (A2, B2).

Dans l'étang E2, pendant la période du démarrage, 7 espèces sont fréquentes à plus de 70%. Parmi celles-ci, *Brachionus angularis* suivi de *Polyarthra vulgaris* puis de *Brachionus calyciflorus* et *Rotaria rotaria* sont les plus nombreux (Fig 40 A2). En terme de biomasse (Fig. 40 B2), *Brachionus angularis* prospère pratiquement tout le temps et est secondé à la quatrième et à la onzième semaines par *Testidunella patina* puis par *Brachionus calyciflorus* à la douzième et quatorzième semaines ; *Asplanchna brightwelli* reste l'espèce secondaire. Quant au cycle complet, on note 8 espèces fréquentes, *Brachionus angularis* restant le plus abondant suivi de *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus calyciflorus* et *Polyarthra vulgaris* (Fig. 40 A1). *Brachionus angularis* et *Brachionus calyciflorus* sont les espèces principales en termes de biomasse et sont secondées par *Asplanchna brightwelli* (Fig. 41 B1). *Anuraeopsis fissa*, *Epiphanes macrourous*, *Lecane bulla*, *Polyarthra vulgaris* et *Rotaria rotaria* sont restées les moins contributives en termes de biomasse pendant tout le cycle d'élevage.



**Figure 40 :** Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Rotifères récoltés dans E2 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

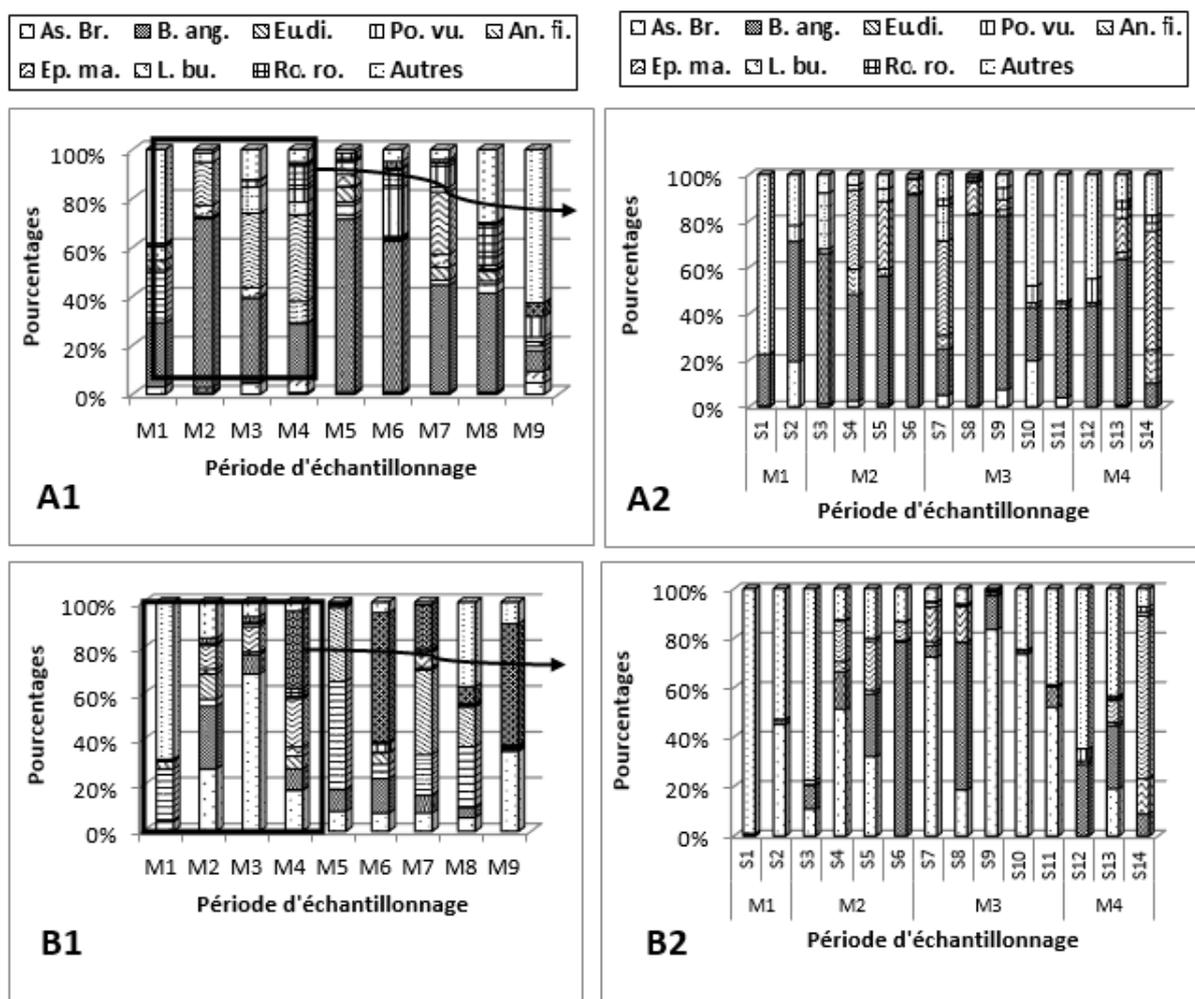
Dans l'étang E3, pendant la période du démarrage, huit espèces sont fréquentes à plus de 70% parmi lesquelles *Brachionus angularis* contribue le plus à la biomasse suivie de *Polyarthra vulgaris* puis *Asplanchna brightwelli*. Ces trois espèces contribuent ensemble, même si cela n'est pas de façon équitable, pendant toute la phase de démarrage (Fig. 41 B2). Aussi, *Brachionus angularis* suivi de *Polyarthra vulgaris* puis de *Lecane bulla* sont les plus nombreux et prospèrent surtout entre la sixième et la dixième semaines (Fig. 41 A2). Quant au cycle complet, on note 9 espèces fréquentes dont *Brachionus angularis* suivi de *Polyarthra vulgaris* et *Anuraopsis fissa* sont les plus abondants (Fig. 41 A1). En termes de biomasse (Fig. 41 B1), *Brachionus quadridentatus* suivi de *polyarthra vulgaris* puis de *Brachionus angularis* apportent plus d'énergie dans le milieu ; celles qui ont peu contribué à la biomasse pendant tout le cycle d'élevage étant *Asplanchna brightwelli*, *Anuraopsis fissa*, *Brachionus leydigi*, *Brachionus calyciflorus*, *Lecane bulla* et *Rotaria rotaria*.



**Figure 41 :** Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Rotifères récoltés dans E3 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

Dans l'étang ET, 6 espèces seulement sont fréquentes à plus de 70%. *Brachionus angularis* suivi de *Epiphanes macrourous* puis *Filinia longiseta* sont les plus abondantes et prospèrent presque toute la période du démarrage (Fig. 42 A2). Durant cette même période, *Asplanchna brightwelli* contribue le plus à la biomasse. Toutefois, elle est rare les sixième, douzième et quatorzième semaines. Cette espèce semble principale et est secondée par *Brachionus angularis* et *Epiphanes macrourous* (Fig. 42 B2). En ce qui concerne le cycle complet, le plan d'eau compte 12 espèces fréquentes parmi lesquelles *Brachionus angularis* et *Epiphanes macrourous* sont les espèces principales en termes d'abondance (Fig. 42 A1). Sur le plan de la biomasse (Fig. 42 B1), *Brachionus quadridentatus* est la plus contributive et peut être considérée comme espèce principale. Toutefois, elle est remplacée au troisième, quatrième et huitième mois par *Asplanchna brightwelli* puis par *Testidunella patina* et *Brachionus angularis* qui codominent parfois dans le milieu. Les espèces de rotifères fréquentes mais peu contributives à la biomasse pendant tout le cycle d'élevage sont *Anureopsis fissa*, *Brachionus*

*calyciflorus*, *Brachionus rubens*, *Gastropus hyptopus*, *Epiphanes macrourous*, *Filinia longiseta*, *Polyarthra vulgaris* et *Rotaria rotaria*.

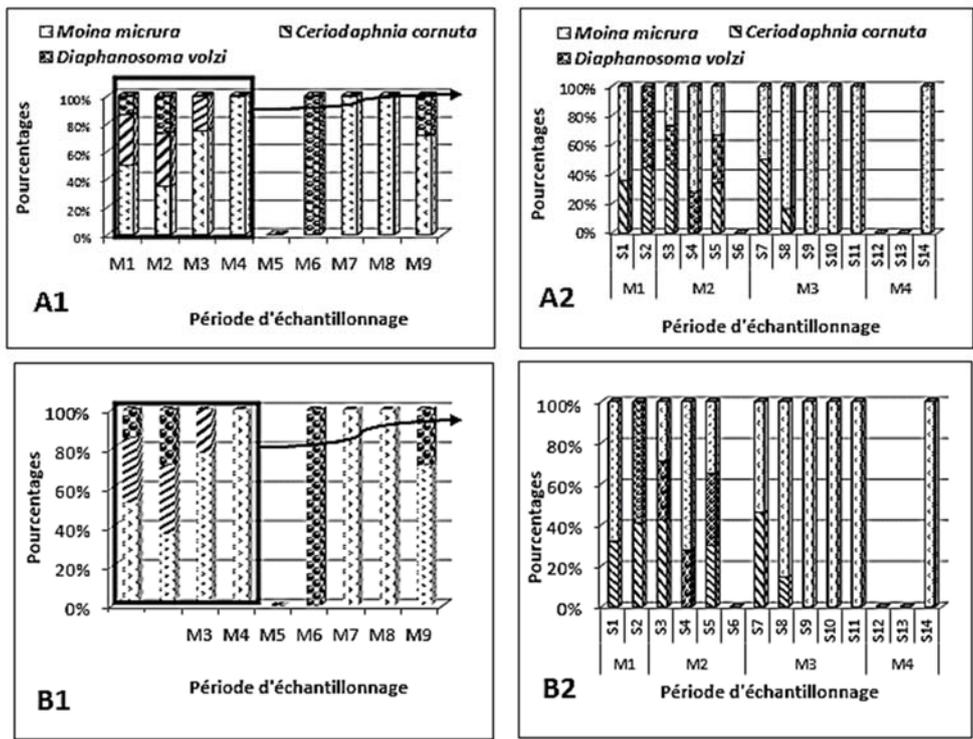


**Figure 42 :** Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Rotifères récoltés dans ET au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

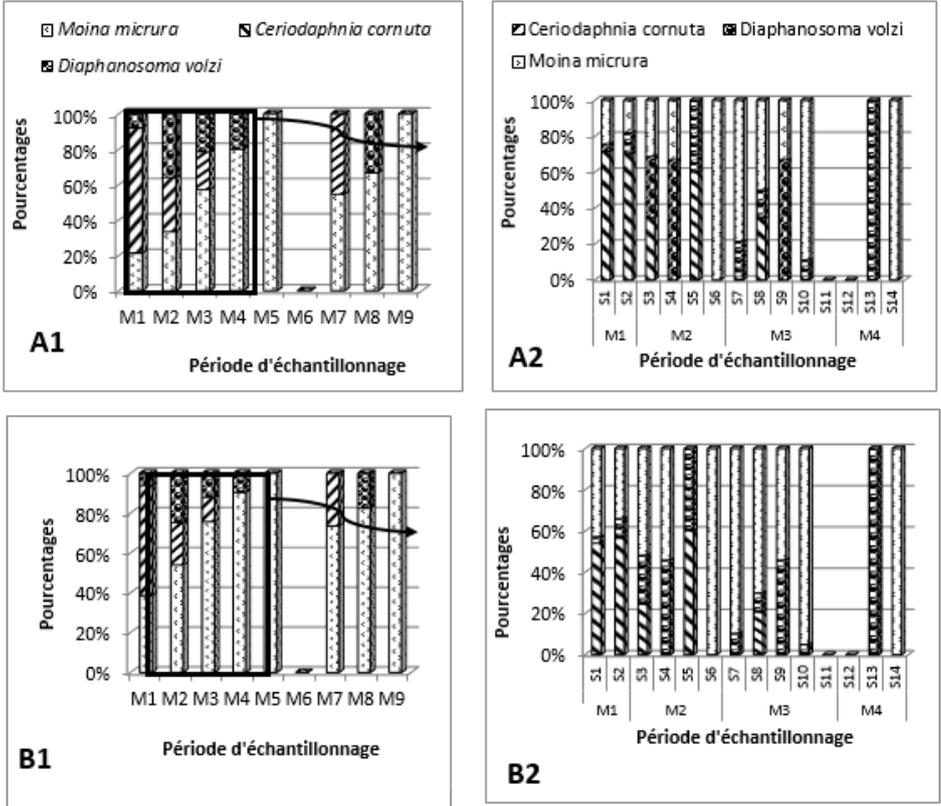
### III.1.2.3.2. Composition de la communauté des Cladocères dans les plans d'eau étudiés

Quelle que soit la phase d'élevage, lorsque les cladocères sont présents, leur structure est presque toujours trispécifique dans les étangs paysans et monospécifiques dans l'étang témoin.

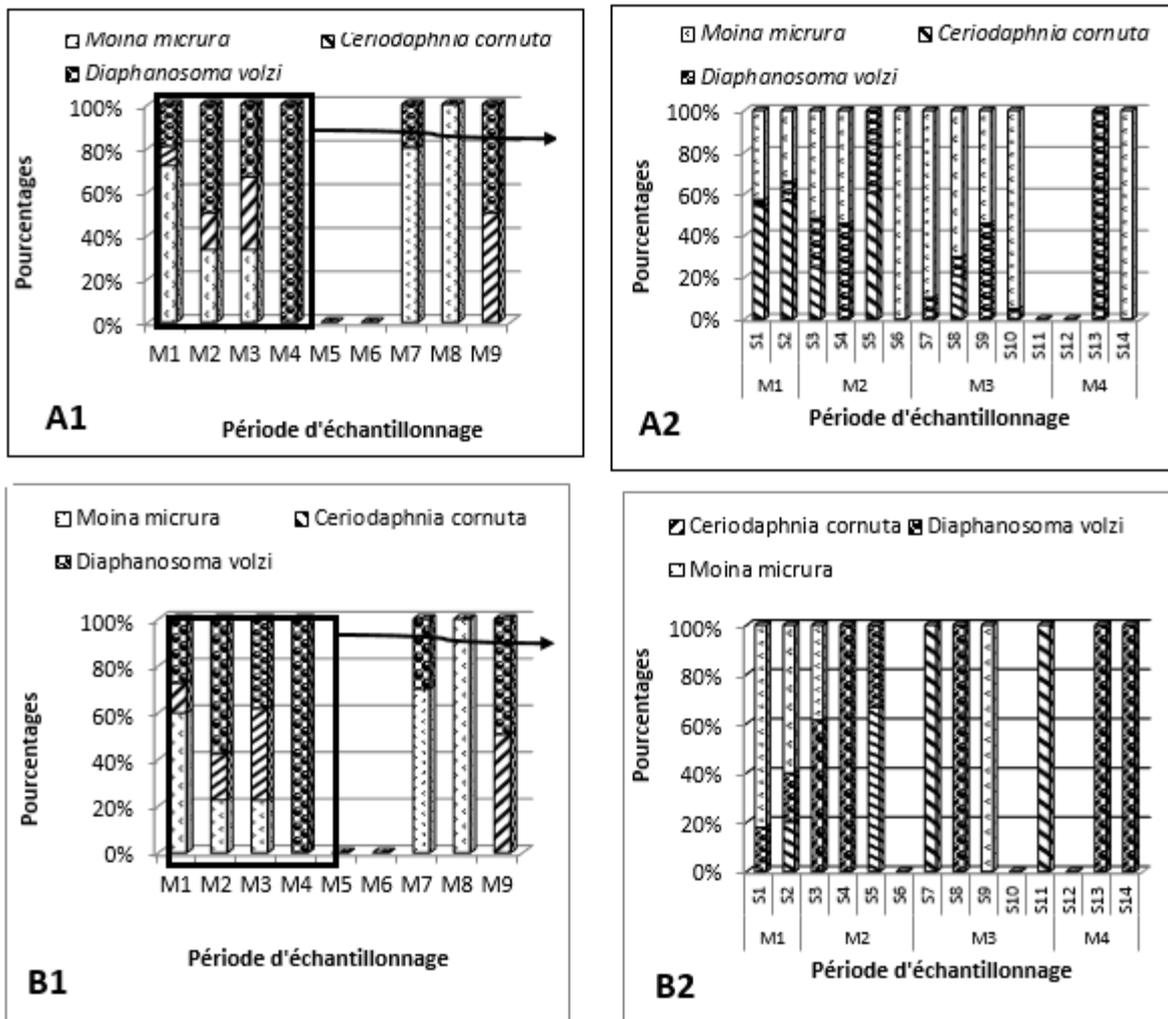
Dans les étangs paysans, au cours du démarrage comme pendant le cycle complet, lorsque les cladocères sont présents, il s'agit presque toujours de *Moina micrura* suivi de *Ceriodaphnia cornuta* et/ ou de *Diaphanosoma volzi* en termes d'abondances et de biomasse. Toutefois, les cladocères ont été rares au cours des semaines 6, 12 et 13 et du 5<sup>e</sup> mois dans l'étang E1 (fig. 43), au cours des semaines 11 et 12 et du 6<sup>e</sup> mois dans l'étang E2 (Fig. 44), au cours des semaines 6, 10 et 12 et des mois 5 et 6 dans l'étang E3 (Fig. 45).



**Figure 43** : Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Cladocères récoltés dans E1 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

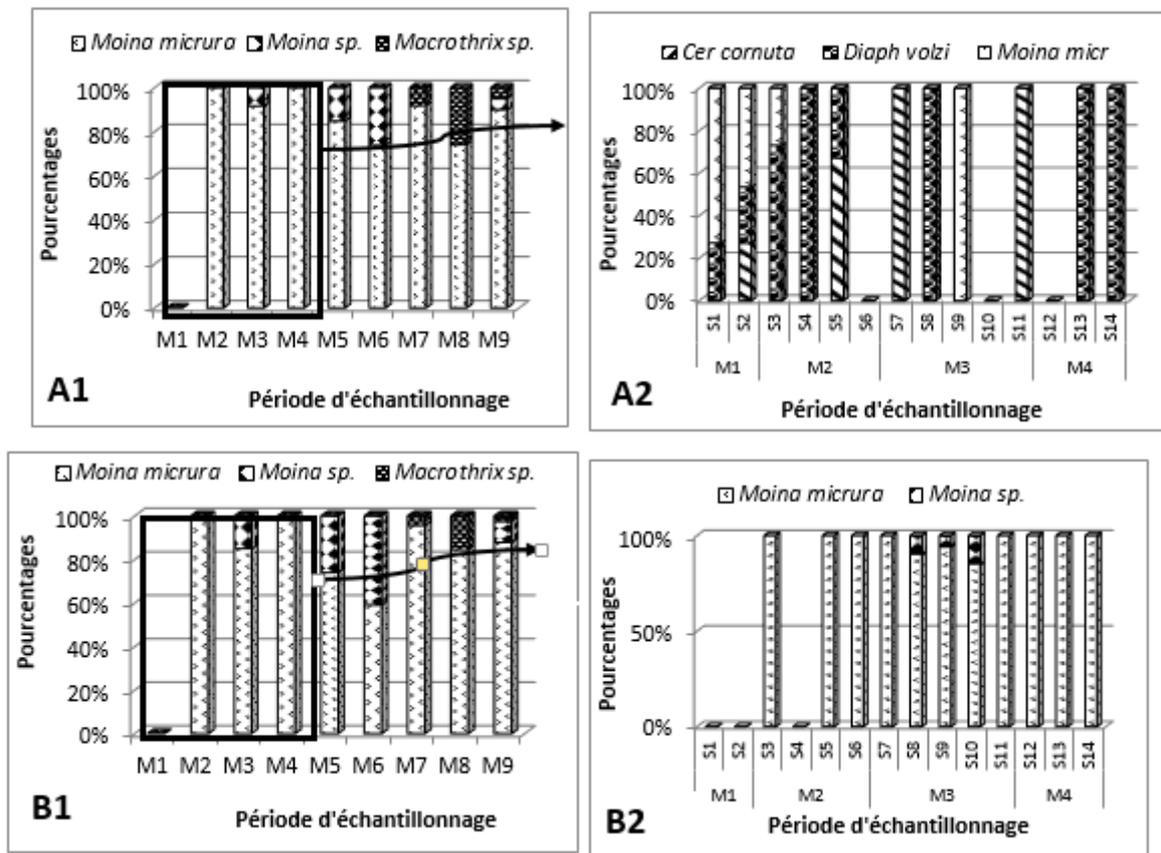


**Figure 44** : Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Cladocères récoltés dans E2 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).



**Figure 45 :** Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Cladocères récoltés dans E3 au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

Dans l'étang témoin ET (Fig. 46), au cours du démarrage, aucun cladocère n'a été prélevé les première, deuxième et quatrième semaines. L'abondance et la biomasse des cladocères se résument presque en totalité à celles de *Moina micrura*, principale espèce échantillonnée tout le reste de temps, bien qu'on note aussi la présence de *Moina sp.* les huitième, neuvième et dixième semaines. Lorsqu'on considère le cycle complet, les cladocères n'existent pas dans l'échantillon du premier mois, mais *Moina micrura* est prédominante en termes d'abondance et de biomasse cladocériennes tout le reste de temps et est suivi de *Moina sp.* du troisième au sixième mois. Ce dernier est remplacé pour le reste de temps d'élevage par *Machrotrix sp.*



**Figure 46 :** Abondance (A) et biomasse (B) relatives des Cladocères récoltés dans ET au cours du cycle complet (A1, B1) de l'élevage et détails de la phase de démarrage (A2, B2).

### III.1.2.3.3. Composition de la communauté des Copépodes dans les plans d'eau étudiés

Quels que soient la phase d'étude ou l'étang paysan pris en compte, l'abondance des copépodes est dans la quasitotalité (90 à 100%) représentée par celle des larves nauplii, une seule espèce de copépode ayant été récoltée dans ces plans et en faible nombre ; il s'agit de *Mesocyclops salinus*. Autrement dit, dans l'étang E1, *Mesocyclops salinus* a été absente dans les échantillons des 6<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup>, 10<sup>e</sup> et 11<sup>e</sup> semaines et présente en faible nombre dans les autres prélèvements en dehors de ceux des 7<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> mois où elle contribue à 25% au moins à l'abondance des copépodes. Dans l'étang E2, *Mesocyclops salinus* apparait en grand nombre par rapport aux larves nauplii les deux premières semaines et en nombre très réduit le reste de temps. Dans l'étang E3, elle apparait en nombre très réduit par rapport aux larves nauplii pendant toute la période d'élevage horsmis les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> mois où sa rareté est observée. Par ailleurs, *Mesocyclops salinus* contribue à près de 90% à la biomasse des copépodes dans ces étangs au cours de l'élevage.

Contrairement aux étangs paysans, 2 espèces de copépodes cohabitent régulièrement dans l'étang ET horsmis les deux premières semaines d'élevage où les copépodes ont été absents. Il

s'agit de *Mesocyclops salinus* et *Tropocyclops confinis*. Les larves nauplii ont été présentes et nombreuses par rapport aux espèces de copépodes précédemment signalées, sauf les deux premières semaines et le 8<sup>e</sup> mois où elles sont absentes. Toutefois, ces larves ont contribué très peu à la biomasse des copépodes quel que soit l'échantillon considéré. Quant aux espèces de copépodes fréquentes, *Tropocyclops confinis* a été plus abondante que *Mesocyclops salinus* seulement les 4<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> mois d'élevage. En ce qui concerne la biomasse des copépodes, *Mesocyclops salinus* reste l'espèce la plus contributive. Toutefois *Tropocyclops confinis* est plus contributive à la 8<sup>e</sup> semaine et au 4<sup>e</sup> mois de l'élevage.

#### **III.1.2.4. Structure de quelques peuplements zooplanctoniques**

##### **III.1.2.4.1 Qualification des espèces caractéristiques de la zone d'étude**

Les contributions en termes d'abondance, de biomasse ou de taux d'occurrence ont été très variables au cours de l'étude. Toutefois, les espèces dites caractéristiques de la zone d'étude présentent une fréquence d'occurrence de plus de 40% dans au moins trois plan d'eau quelle que soit la phase d'élevage (Tableau XVI)

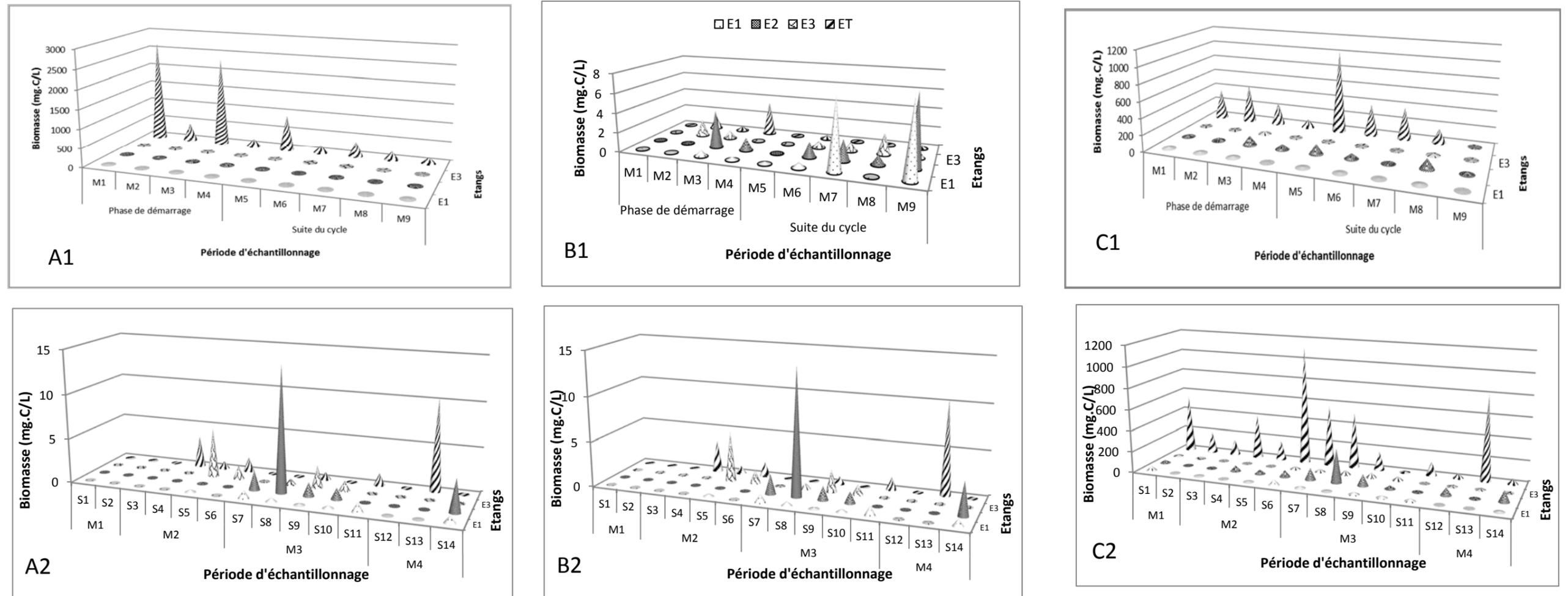
A l'examen du tableau XVI, 8 espèces sont caractéristiques des plans d'eau étudiés. Il s'agit de *Asplanchna brightwelli*, *Anureopsis fissa*, *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus*, *Polyarthra vulgaris*, *Rotaria rotaria* pour les rotifères, *Moina micrura* pour les cladocères, et *Mesocyclops salinus* pour les copépodes. Les taux d'occurrence de ces espèces sont compris entre 14,2% (*Mesocyclops salinus* dans E3 pendant le démarrage) et 100% (*Brachionus angularis* dans E1 et ET pendant le démarrage ; *Asplanchna brightwelli* dans E1 et ET, *Brachionus angularis* dans tous les étangs étudiés, *Brachionus calyciflorus* dans E1, *Rotaria rotaria* dans E3 et *Mesocyclops salinus* dans E1 et E2 pendant le cycle complet de l'élevage). L'abondance totale de chaque espèce indiquée dans le tableau XVI est comprise entre 22 ind./L (*Brachionus calyciflorus* dans E3 pendant la phase de démarrage) et 9393 ind./L (*Brachionus angularis* dans ET pendant la phase de démarrage). Quant à la biomasse totale, elle est comprise entre 1mg C/L (*Rotaria rotaria* dans E1 pendant le cycle complet) et 19352 mg C/L (*Asplanchna brightwelli* dans ET pendant la phase de démarrage).

**Tableau XVI :** Occurrence (f<sub>i</sub>%), abondance totale (AT) et biomasse totale (BT) des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés.

Caractéristique Espèce / plan d'eau		Phase de démarrage			Cycle complet d'élevage		
		f <sub>i</sub> %	AT	BT	f <sub>i</sub> %	AT	BT
<i>Asplanchna brightwelli</i>	E1	50	113	139	100	67	82
	E2	50	115	438	66,6	48	182
	E3	57,1	81	112	77,7	33	45
	ET	78,5	584	19352	100	229	7588
<i>Anuraeopsis fissa</i>	E1	64,2	81	4	77,7	313	16
	E2	42,8	251	22	77,7	189	17
	E3	42,8	182	11	66,6	119	7
	ET	42,8	256	18	55,5	87	6
<i>Brachionus angularis</i>	E1	100	1005	236	100	519	122
	E2	92,8	2166	952	100	1312	577
	E3	85,7	967	210	100	412	89
	ET	100	9393	4943	100	6078	3198
<i>Brachionus calyciflorus</i>	E1	42,8	194	793	100	116	474
	E2	57,1	137	380	88,8	197	546
	E3	57,1	22	47	88,8	29	62
	ET	42,8	254	5307	77,7	413	8630
<i>Polyarthra vulgaris</i>	E1	85,7	320	18	88,8	170	10
	E2	78,5	470	61	77,7	160	21
	E3	71,4	250	141	77,7	193	109
	ET	57,1	345	133	77,7	521	202
<i>Rotaria rotaria</i>	E1	64,2	46	6	88,8	87	1
	E2	50	136	31	77,7	95	21
	E3	64,2	60	29	100	83	40
	ET	28,5	265	65	66,6	396	98
<i>Moina micrura</i>	E1	64,2	80	339	77,7	66	280
	E2	71,4	259	1380	88,8	140	746
	E3	28,5	88	208	55,5	61	144
	ET	78,5	712	3756	88,8	428	2258
<i>Mesocyclops salinus</i>	E1	71,4	58	785	100	103	1395
	E2	92,8	590	2182	100	285	1054
	E3	14,2	38	442	66,6	81	942
	ET	64,2	431	1441	77,7	173	578

#### III.1.2.4.2 Variation spatio-temporelle de la biomasse des espèces caractéristiques

Pour *Asplanchna brightwelli*, le cycle complet d'élevage (Fig. 47 A1) présente de fortes biomasses les premier (2684,1 mg C/L) et troisième (2319 mg C/L) mois d'élevage dans l'étang ET et la plus faible valeur (1,3 mg C/L) le premier mois dans E3. Toutefois, elle a été absente quelques fois dans E2 et E3. Au cours du démarrage (Fig. 47 A2), lorsque *Asplanchna brightwelli* est présent dans les eaux des étangs étudiés, sa biomasse varie en dents de scie quel que soit le plan d'eau, et présente une très forte valeur à la deuxième (4738,6 mg C/L) et à la septième semaines dans ET (8880,7 mg C/L), la valeur la plus faible étant enregistrée à la cinquième semaine dans E3 (1,3 mg C/L). Toutefois, cette espèce n'a pas été échantillonnée dans les plans d'eau à la douzième semaine. Il en est de même pour les étangs paysans les première, troisième et onzième semaines d'élevage.



**Figure 47:** Variation spatio-temporelle de la biomasse des rotifères *Asplanchna brightwelli* (A), *Anureopsis fissa* (B) et *Brachionus angularis* (C) au cours du cycle complet de l'élevage (A1, B1 et C1) et détails de la phase de démarrage (A2, B2 et C2).

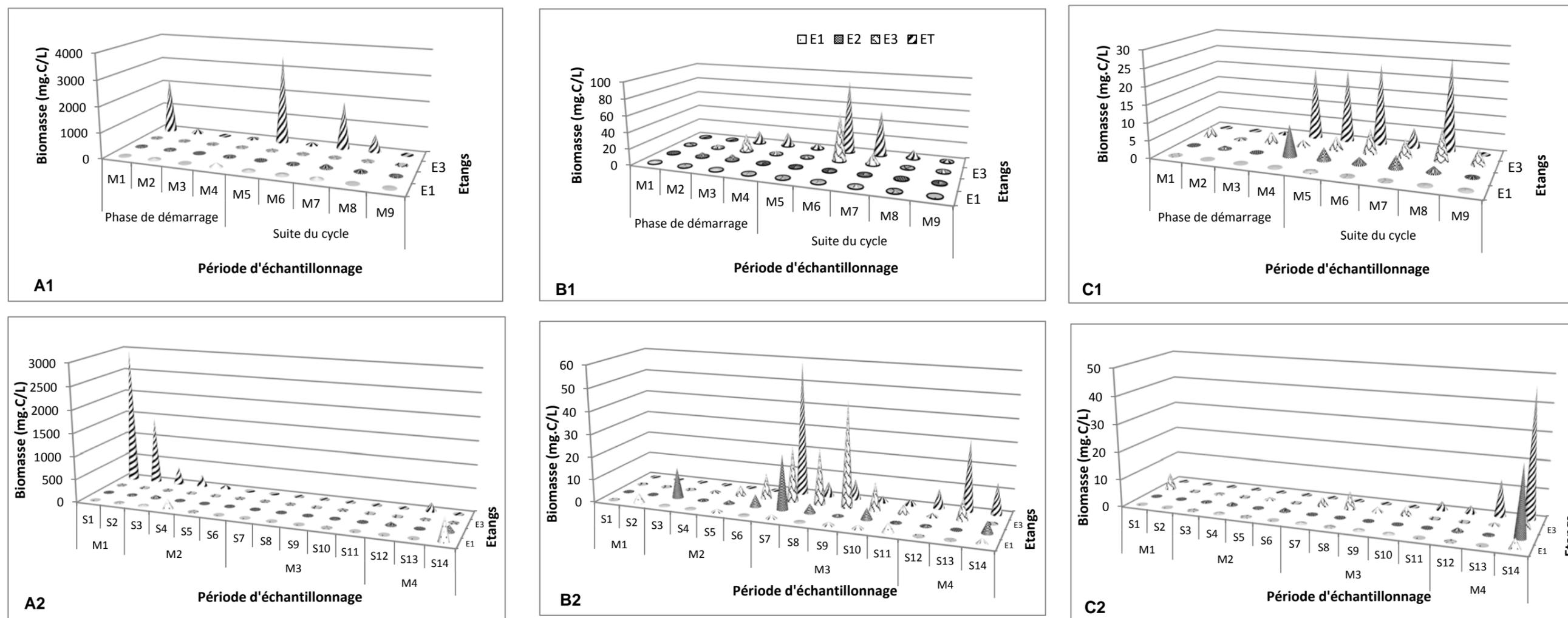
Quels que soient la phase d'élevage ou l'étang considéré, *Anuraeopsis fissa* (Fig. 47 B) malgré sa forte abondance contribue très peu à la biomasse zooplanctonique. Néanmoins on observe des pics de 10,4 mg C/L à la treizième semaine dans l'étang ET, 14 mg C/L à la huitième semaine dans E2 et de 7 mg C/L au septième mois dans E1 et neuvième mois dans E1 et E2.

Au cours de la phase de démarrage, la biomasse de *Brachionus angularis* (Fig. 47 C) a évolué en dents de scie quel que soit le plan d'eau et montre des pics importants les sixième (1127 mg C/L) et treizième (799,9 mgC/L) semaine dans ET. Lorsque cette espèce est récoltée, sa biomasse minimale est de 0,21 mg C/L (troisième semaine dans E3) et la plus forte biomasse enregistrée dans les étangs paysans est de 321 mg C/L. Quand on considère le cycle complet, la biomasse présente presque le même schéma. Elle est plus élevée dans ET par rapport aux étangs paysans quel que soit le prélèvement en dehors du neuvième mois d'élevage, la plus forte valeur étant de 1022 mgC/L (au cinquième mois dans ET).

Bien que son taux d'occurrence soit plus élevé dans les étangs paysans, *Brachionus calyciflorus* (Fig. 48 A) croît mieux dans l'étang ET lorsqu'elle est présente. De très fortes valeurs de biomasse y sont relevées les première (2967 mg C/L) et deuxième (1441 mg C/L) semaine, les premier (2215 mg C/L), cinquième (3489 mg C/L) et septième (1859 mgC/L) mois d'élevage. La biomasse la plus faible (2,1 mg C/L) est enregistrée dans E3 le premier mois. Toutefois *Brachionus calyciflorus* a quelque fois été absente quelle que soit la phase d'étude ou le plan d'eau.

Pour *Polyarthra vulgaris* (Fig. 48 B), la biomasse varie de façon irrégulière quelle que soit la phase d'élevage ou le plan d'eau et présente des fortes valeurs à la septième semaine dans ET (59,4 mg C/L) et à la neuvième semaine dans E3 (46,5 mg C/L) pour le démarrage ; le sixième mois d'élevage dans ET (90,4 mg C/L) et dans E3 (60,1 mg C/L) pour le cycle complet. Toutefois, l'étang ET n'est colonisé par cette espèce qu'à partir de la septième semaine d'élevage.

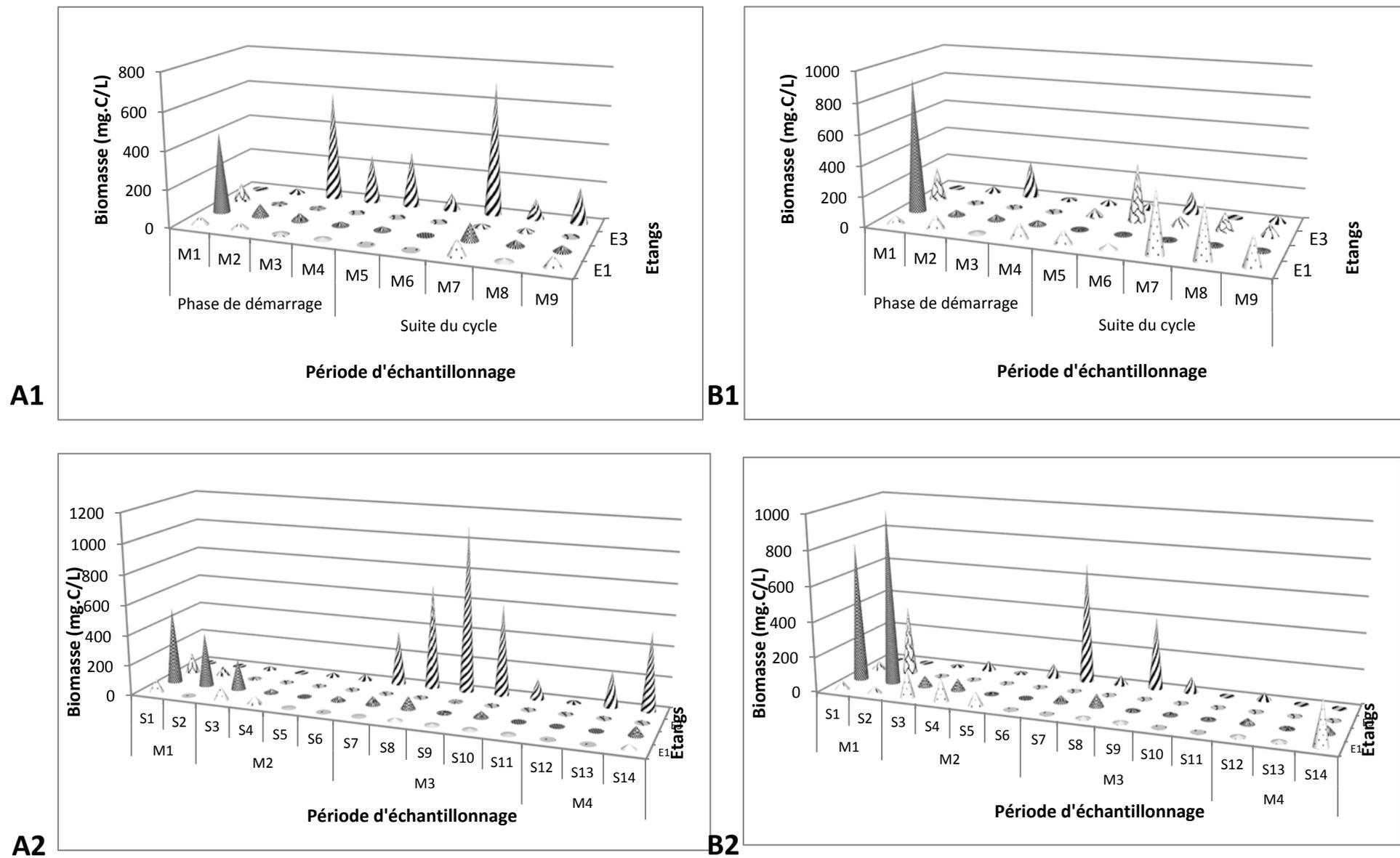
*Rotaria rotaria* (Fig. 48 C) n'est présente dans les plans d'eau que de façon sporadique. Elle est échantillonnée dans l'étang ET seulement à partir de la dixième semaine d'élevage et le pic de biomasse est noté la quatorzième semaine (46,4 mg C/L dans ET et 25,6 mg C/L dans E2), les sixième (23,5 mg C/L) et huitième (26,5 mg C/L) mois dans ET. Comparativement à l'étang ET, sa biomasse est insignifiante dans les étangs paysans malgré son abondance non négligeable.



**Figure 48:** Variation spatio-temporelle de la biomasse des rotifères *Brachionus calyciflorus* (A), *Polyarthra vulgaris* (B) et *Rotaria rotaria* (C) au cours du cycle complet de l'élevage (A1, B1 et C1) et détails de la phase de démarrage (A2, B2 et C2).

Le cladocère *Moina micrura* (Fig. 49 A) présente des profils de biomasse en dents de scie assez visibles dans les étangs E2 et ET où il semble mieux se développer. En effet, on observe dans ET des pics importants de biomasse le troisième mois précisément lors de la neuvième semaine (1102 mgC/L) et le septième mois d'élevage (707 mgC/L). Un pic non négligeable s'observe aussi dans E2 au cours du premier mois d'élevage (431,7 mgC/L).

Contrairement à toutes les autres espèces zooplanctoniques présentées ci-haut, le copépode *Mesocyclops salinus* (Fig. 49 B) croît plus dans les étangs paysans que dans l'étang témoin ET hormis les septième (682 mg C/L) et neuvième (408 mg C/L) semaines. Les profils de biomasse se présentent de façon irrégulière et dessinent des pics de 899 mg C/L le premier mois dans E2, 420 mg C/L le septième mois et 365 mg C/L le huitième mois dans E1 et 384 mgC/L le sixième mois dans E3.



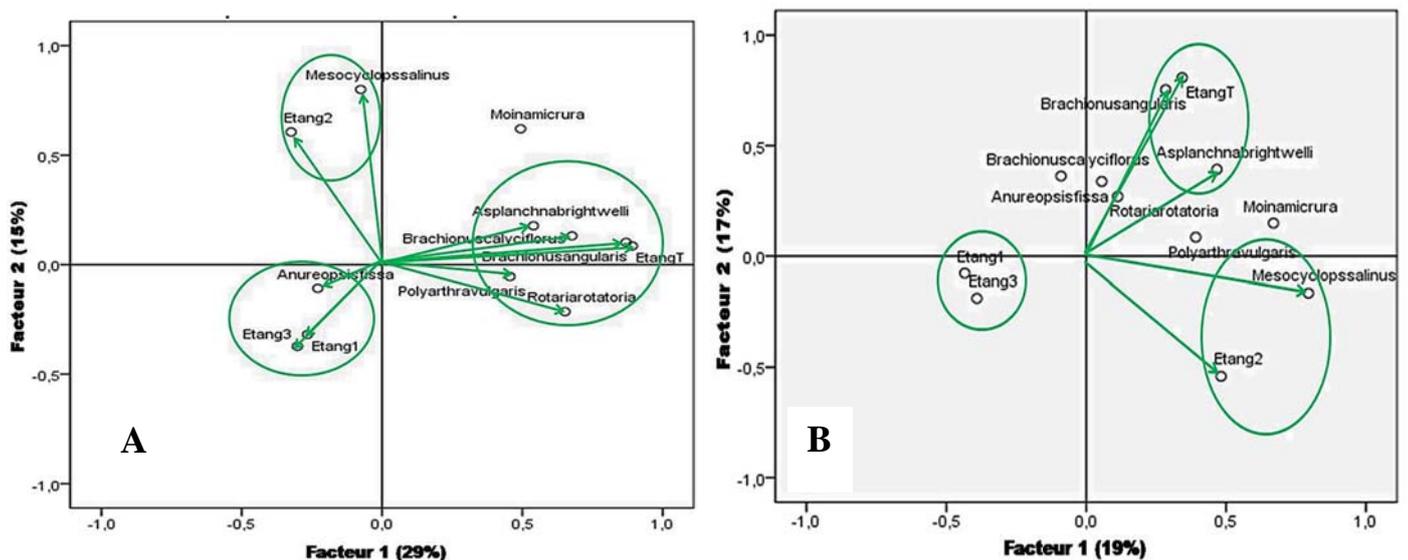
**Figure 49:** Variation spatio-temporelle de la biomasse des microcrustacées *Moina micrura* (A) et *Mesocyclops salinus* (B) au cours du cycle complet de l'élevage (A1 et B1) et détails de la phase de démarrage (A2 et B2).

### III.1.2.4.3. Analyse en Composantes Principales de l'abondance des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés

La projection des abondances des espèces zooplanctoniques caractéristiques sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP fait apparaître des affinités entre ces abondances et les étangs dans lesquelles elles vivent.

Pendant le cycle complet (Fig. 50 A), les deux premières composantes sur le plan factoriel expriment 44% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) exprimant 29% de l'inertie totale et le second axe (F1) 15%. Ces axes ont regroupé les données en 3 noyaux principaux dans lesquels l'étang ET est associé aux fortes abondances de la majorité des espèces caractéristiques. Il s'agit de *Asplanchna brightwelli*, *Polyarthra vulgaris* ; *Rotaria rotatoria*, *Brachionus calyciflorus* et *Brachionus angularis*. L'étang 2 aux fortes abondances de *Mesocyclops salinus* ; l'étang 1 et l'étang 3 aux fortes abondances de *Anureopsis fissa*.

Ainsi, au démarrage (Fig 50 B) les deux premiers axes sur le plan factoriel expriment à eux 36% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) explique 19% de l'inertie totale et le deuxième axe (F2) 17% de l'inertie totale. Ces axes ont regroupé les données en 3 noyaux principaux qui associent l'étang ET aux fortes abondances de *Brachionus angularis* et de *Asplanchna brightwelli* ; l'étang 2 aux fortes abondances de *Mesocyclops salinus* ; l'étang 1 et l'étang 3 à aucune forte abondance.



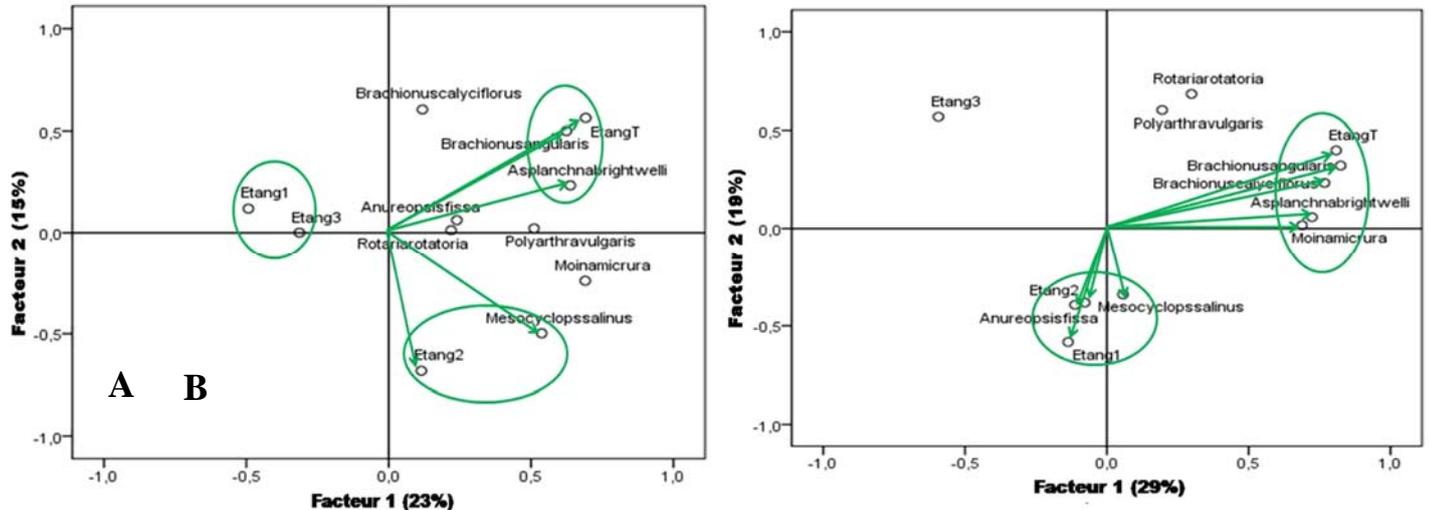
**Figure 50** : Analyse en Composantes Principales de l'abondance des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés enregistrée au cours du cycle complet (A) et détail de la phase de démarrage (B)

#### III.1.2.4.4. Analyse en Composantes Principales de la biomasse des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés

La projection des biomasses des espèces zooplanctoniques caractéristiques sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP fait apparaître des affinités entre ces biomasses zooplanctoniques et les étangs qui les contiennent.

Pendant le cycle complet (Fig.51 A), les deux premiers axes sur le plan factoriel expriment 48% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) exprimant 29% de l'inertie totale et le second axe (F2) 19%. Ces axes ont regroupé les données en 2 noyaux principaux dans lesquels l'étang ET est associé aux fortes biomasses de *Asplanchna brightwelli*, *Moina micrura*, *Brachionus calyciflorus* et *Brachionus angularis*. L'étang 2 et l'étang 1 aux fortes biomasses de *Mesocyclops salinus*. et de *Anureopsis fissa* et l'étang 3 à aucune forte biomasse.

Ainsi, au démarrage (Fig. 51 B) les deux premiers axes sur le plan factoriel expriment à eux 38% de l'inertie totale. Le premier axe (F1) explique 23% de l'inertie totale et le deuxième axe (F2) 15% de l'inertie totale. Ces axes ont regroupé les données en 3 noyaux principaux qui associent l'étang témoin aux fortes biomasses de *Brachionus angularis* et de *Asplanchna brightwelli* ; l'étang 2 aux fortes biomasses de *Mesocyclops salinus*; l'étang 1 et l'étang 3 à aucune forte biomasse.



**Figure 51 :** Analyse en Composantes Principales de la biomasse des espèces caractéristiques des plans d'eau étudiés enregistrée au cours du cycle complet (A) et détail à la phase de démarrage (B)

### III.1.3. Quelques données ichtyologiques

#### III.1.3.1 Quelques données sur le régime alimentaire de *Oreochromis niloticus* de l'étang témoin ET

Le régime alimentaire de *Oreochromis niloticus* est très varié (tableau XVII) et présente en plus des organismes animaux et végétaux, des détritiques et boue sous forme de trace chez les tilapias d'au plus 30 g et en abondance chez les tilapias de plus de 30 g. Parlant des préférences alimentaires, les tilapias de moins de 30 g sollicitent plus le phytoplancton (54,45%), les rotifères (30,2%) et les cladocères (9,9%); les copépodes avec 4,95%) et les macroinvertébrés avec 0,4% ne sont pas très appréciés par ce poisson. Quant aux tilapias de plus de 30 g, leurs choix sont plus portés sur le phytoplancton (30,25%), suivi des copépodes (25,12%), des macroinvertébrés (19,48%), des rotifères (14,8%) et des cladocères (10,25%). Dans les deux cas, les cladocères représentent près de 10% des organismes dénombrés. Des œufs ont été observés chez quelques individus de 30 g.

**Tableau XVII** : Composition moyenne du contenu stomacal des Tilapias récoltés dans l'étang témoin ET au terme de la phase de démarrage.

Groupe d'organismes rencontrés dans l'estomac	Tilapia de moins de 30 g		Tilapia de 30 g et plus	
	Ni	%	Ni	%
Rotifères ( <i>B. angularis</i> , <i>B. calyciflorus</i> , <i>Epiphanes macrourous</i> , <i>Gastropus hyptomus</i> , <i>Filinia longiseta</i> , <i>Asplanchna sp.</i> , <i>Polyarthra vulgaris</i> , <i>Rotaria rotaria</i> ...)	61	30,2	29	14,8
Cladocères ( <i>Moina micrura</i> )	20	9,9	20	10,25
Copépodes ( <i>Tropocyclops confinis</i> , <i>Mesocyclops salinus</i> )	10	4,95	49	25,12
Phytoplancton (Euglénophycées, Chlorophycées, Cyanophycées)	110	54,45	59	30,25
Macroinvertébrés	1	0,4	38	19,48
Total	202	100	195	100
Détritiques + boue + autres	rares		abondants	

#### III.1.3.2 Performances d'élevage

Au terme de la phase de démarrage, une évaluation à mi-parcours de quelques indicateurs des performances d'élevage (tableau XVIII) a été faite pour chaque espèce de poissons élevés dans les 4 étangs pris en compte dans cette étude. Il s'agit du poids moyen final (Pmf), la croissance spécifique (Cs), la longueur standard (Ls) et la largeur (l) du poisson.

**Tableau XVIII** : Données piscicoles moyennes enregistrées au terme de la phase de démarrage

	<i>Oreochromis niloticus</i>				<i>Clarias gariepinus</i>			
	E1	E2	E3	ET	E1	E2	E3	ET
Pmi (g)	17,1	18,9	18,2	19,2	5,3	5,2	4,8	3,2
Pmf (g)	62,3 ± 22,9	70,8 ± 34	59,3 ± 16,8	129,1 ± 26,6	73,4 ± 12,2	103,4 ± 47,9	75,4 ± 11,7	142 ± 55,2
Ls (cm)	14,1 ± 2,2	14,7 ± 3,1	13,5 ± 1,3	19,6 ± 1,8	21 ± 2,2	23 ± 3,3	21,3 ± 1,7	24,3 ± 2,8
l (cm)	4,7 ± 0,4	5 ± 0,6	4,4 ± 0,4	6,1 ± 0,7	3,8 ± 0,3	4,6 ± 0,9	3,9 ± 0,3	4,5 ± 0,6
Durée d'élevage	96j				68j			
Cs (g/j)	0,47	0,54	0,42	1,14	1	1,44	1,03	2,04

Avec Pmi = poids moyen initial ; Pmf = poids moyen final ; Ls = longueur standard du poisson ; l = largeur du poisson et Cs = croissance spécifique du poisson.

Au terme de 96 jours d'élevage, *Oreochromis niloticus* présente des performances (tableau XVIII) plus importantes lorsqu'on va de l'étang E3 (59,3 g de poids moyen final pour 13,5 cm de long, 4,4 cm de large et un gain de poids journalier d'environ 0,42 g) à l'étang ET (129,1 g de poids moyen final pour 19,6 cm de long et 6,1 cm de large et un gain de poids journalier d'environ 1,14 g) passant par les étangs E1 puis E2. En ce qui concerne *Clarias gariepinus*, au terme de 68 jours d'élevage, ses performances maximales sont enregistrées dans l'étang ET (142 g de poids moyen final pour 24,3 cm de long et 4,5 cm de large et un gain de poids journalier d'environ 2,04 g), les valeurs minimales se trouvant dans l'étang E1 (73,4 g de poids moyen final pour 21 cm de long et 3,8 cm de large et un gain de poids journalier d'environ 1 g).

Au terme du cycle complet d'élevage, quatre indicateurs de performance d'élevage ont été exploités (tableau XIX) à savoir le poids moyen final (Pmf), le gain de biomasse (GB) par are, le taux de survie (TS) des poissons cultivés et la croissance spécifique (gain de poids journalier) du poisson (Cs). Les performances maximales sont enregistrées dans l'étang ET (Pmf = 321,5 g, GB = 24 kg, TS = 61,1% et Cs = 1,11 g/j) et les minimales dans l'étang E3 (Pmf = 182,1 g, GB = 4,9 kg, TS = 14,5% et Cs = 0,6 g/j) chez *Oreochromis niloticus*. Quant à *Clarias gariepinus*, le poids moyen final et la croissance spécifique sont plus élevés dans l'étang E2 (1381,3 g et 5,63 g/j respectivement) et plus faibles dans l'étang E3 (989,7 g et 4,03 g/j respectivement) ; alors que le gain de biomasse par are et le taux de survie sont plus élevés dans l'étang ET (81,1 kg et 40% respectivement) et plus faibles dans l'étang E3 (17,73 kg et 9,5% respectivement).

**Tableau XIX** : Performances d'élevage enregistrées au terme du cycle complet de l'élevage

Paramètres	<i>Oreochromis niloticus</i>				<i>Clarias gariepinus</i>			
	E1	E2	E3	ET	E1	E2	E3	ET
Taux d'empoissonnement	2	2	2	1	2	2	2	2
ni	800	750	900	85	800	750	900	170
Pmi (g)	17,1	18,9	18,2	19,2	5,3	5,2	4,8	3,2
Nf	186	202	130	52	86	120	85	67
Pmf (g)	208,2	258,4	182,1	321,5	1010,8	1381,3	989,7	1215,8
Poids extrêmes (g)	150-250	180-350	150-220	200-380	500-2500	700-2500	500-2300	700-1900
Pf (Kg)	31 +11	40 +17	20 +15	13 + 9	60	81	56	40
GB (Kg) par are	9	14,6	4,9	24	20,65	43,14	17,73	81,1
TS (%)	23,2	27	14,5	61,1	11	16	9,5	40
Durée d'élevage	272 jours				244 jours			
Cs (g/j)	0,7	0,88	0,6	1,11	4,12	5,63	4,03	4,96

Avec Ni = nombre de poissons mis en charge ; Nf = nombre de poissons de taille marchande récoltés ; Pmi = poids moyen initial ; Pmf = poids moyen final ; GB = gain de biomasse par are ; TS = taux de survie ; Cs = Croissance spécifique ; Pf = poids final (poids des poissons à la taille marchande + poids des poissons à la taille non marchande).

### III.1.3.3. Performances agro-économiques des plans d'eau étudiés

Au terme de la récolte des poissons cultivés dans les plans d'eau considérés dans ce travail, un bilan financier exhaustif (tableau XX) est réalisé dans le but de classer ces étangs du point de vue de la rentabilité. Ce bilan tient compte des prix actuels sur le marché dans la région d'étude a savoir : alevin de tilapia = 50 F CFA, alevin de silure = 100 F CFA, urée = 400 F CFA/ kg, superphosphate = 1000 FCFA/ kg, Tilapia à la taille marchande = 2000 F CFA / kg, Tilapia à la taille non-marchande = 1000 F CFA / kg et silure = 2500 F CFA / kg. Le tableau XX récapitule l'essentiel de ce bilan. En effet, l'amortissement du matériel d'exploitation piscicole et les différentes activités menées du début de l'élevage à la récolte ont été chiffrés, ce qui a permis d'évaluer les sorties représentant la dépense totale effectuée au cours de l'élevage dans chaque étang. De même, l'ensemble des poissons récoltés a été catégorisé et évalué selon le coût actuel sur le marché, ce qui a permis de chiffrer les entrées financières représentant la recette totale. Une fois cet exercice effectué, la rentabilité de chaque plan d'eau a été évaluée en calculant le bénéfice ou la perte selon la formule indiquée dans le tableau XX.

Il ressort donc de l'examen des données du tableau XX que le bénéfice réalisé par le pisciculteur pour 100 m<sup>2</sup> d'étang est de 6 025 FCFA pour E1, 30 590 FCFA pour E2, 52 250 FCFA pour ET. Toutefois, E3 a présenté plutôt une perte de 6 920 FCFA. Autrement dit cet

élevage a produit un taux de rentabilité par are de 3,02% pour l'étang E1, 22,57% pour l'étang E2 et de 63,14% pour l'étang ET ; l'étang E3 ayant produit une perte de plus de 3% .

**Tableau XVIIIIX :** Evaluation des performances agro-économiques des plans d'eau étudiés

Coût des intrants par étang		E1 (400 m <sup>2</sup> )	E2 (375 m <sup>2</sup> )	E3 (450 m <sup>2</sup> )	ET (85 m <sup>2</sup> )
SORTIE	Alevins de Tilapia	40000	37500	45000	4250
	Alevins de Silure	80000	75000	90000	17000
	Fertilisant organique	/	/	/	/
	Fertilisant minéral	28900	27275	36150	11500
	Main d'œuvre du suivi	15000	10000	20000	20000
	Amortissement du matériel d'exploitation	5000	5000	5000	5000
	Amortissement de l'étang	10000	10000	10000	5000
	Main d'œuvre de la vidange (4 personnes)	20000	20000	20000	20000
	Dépense totale (Sortie totale)	198900	184775	226150	82750
ENTREE	Tilapia de taille marchande	62000	80000	40000	26000
	Tilapia de taille non-marchande	11000	17000	15000	9000
	Silure	150000	202500	140000	100000
	recette totale (Entrée totale)	223000	299500	195000	135000
BENEFICE par are	$B = \frac{E-D}{S} \times 100$	6025 F	30590 F	moins 6920 F	52250 F
Taux de rentabilité par are	$Tr = \frac{E-D}{D.S} \times 100 000$	3,02%	22,57%	-3,05%	63,14%

Avec B = bénéfice, Tr = taux de rentabilité par are, E = entrée ou vente, D = sortie ou dépense, S = surface du plan d'eau.

### III.1.4. Gestion des étangs étudiés pendant la période d'élevage

Les activités menées par le pisciculteur durant le cycle d'élevage sont récapitulées dans le tableau XXI.

**Tableau XIXI** : Gestion effective des étangs E1, E2, E3 et ET durant le cycle d'élevage

Périodes	Intervention du pisciculteur				Observation
	E1	E2	E3	ET	
Avant l'empoissonnement	Nettoyage du bassin – Prélèvement du sol pour analyse – Construction des compostières – Chaulage du bassin (100 g de chaux / m <sup>2</sup> ) – Mise en eau jusqu'à 40 cm de profondeur au niveau du moine – Fumage de base à raison de 250 kg poids frais de lisier + 5 kg super phosphate + 5 kg d'urée – Remplissage du bassin jusqu'à 70 cm de profondeur au niveau du moine.	Nettoyage du bassin – Prélèvement du sol pour analyse – Construction des porcheries – Chaulage du bassin (100 g de chaux / m <sup>2</sup> ) – Mise en eau jusqu'à 40 cm de profondeur au niveau du moine – Fumage de base à raison de 250 kg poids frais de lisier + 5kg super phosphate + 5 kg d'urée – Remplissage du bassin jusqu'à 70 cm de profondeur au niveau du moine.	Nettoyage du bassin – Prélèvement du sol pour analyse – Construction des compostières – Chaulage du bassin (100 g de chaux / m <sup>2</sup> ) – Mise en eau jusqu'à 40 cm de profondeur au niveau du moine – Fumage de base à raison de 350 kg poids sec de fiente de poule de chair + 5kg super phosphate + 5 kg d'urée – Remplissage du bassin jusqu'à 70 cm de profondeur au niveau du moine.	Construction de l'étang – Prélèvement du sol pour analyse – Construction de la porcherie – Chaulage du bassin (200 g de chaux / m <sup>2</sup> ) – Mise en eau jusqu'à 20 cm de profondeur au niveau du moine – Fumage de base à raison de 25 kg poids sec de lisier + 1,5 kg super phosphate + 3 kg d'urée – Remplissage du bassin jusqu'à 70 cm de profondeur et contrôle de la transparence de l'eau tous les 3 jours.	ET : Pluie torrentielle et forte le lendemain du fumage de base d'où fort lessivage du bassin versant
Début du cycle d'élevage :	Empoisonnement du tilapia (2 ind. /m <sup>2</sup> ) 5 jours après le fumage de base ; Moment : 18h Pmi = 17,1 g	Empoisonnement du tilapia (2 ind. /m <sup>2</sup> ) 10 jours après le fumage de base ; Moment : 18h Pmi = 18,9 g	Empoisonnement du tilapia (2 ind. /m <sup>2</sup> ) 5 jours après le fumage de base ; Moment : 18h Pmi = 18,2 g	Empoisonnement du tilapia (1 ind. /m <sup>2</sup> ) 8 jours après le fumage de base ; Moment : 8h Pmi = 19,2 g	E1, E2, E3 : Les alevins viennent du département du Nyon et So'o (pêchés et transportés le même jour). ET : Ces alevins viennent de la station aquacole d'Obili à Yaoundé. Secchi = 19 cm
Mois d'élevage N°1	Pêche et destruction des têtards à l'aide des épuisettes.	Pêche et destruction des têtards à l'aide des épuisettes.	Pêche et destruction des têtards à l'aide des épuisettes.	Début du fumage continue 5 jours après l'empoisonnement : installation d'un porc de 80 kg environ sur pilotis éjectant en moyenne 5 kg de fèces et d'urine / jours Retrait du porc 5 jours plus tard et renouvellement progressif de l'eau du bassin.	E1, E2, E3 : Présence d'une marée de têtards de grenouille malgré l'intervention du pisciculteur ; E1 : Empoisonnement difficile car plus de 100 morts sont enregistrés les 3 premiers jours d'élevage. E2 : Empoisonnement difficile car plus de 150 morts sont enregistrés les 3 premiers jours d'élevage. E3 : Empoisonnement difficile car plus de 200 morts sont enregistrés les 3 premiers jours d'élevage. ET : -Présence de têtards de grenouille -Développement du bloom algal 4 jours après le début du fumage continue. Secchi = 26 cm
Mois d'élevage N°2	-Début de fumage continue 25 jours après l'empoisonnement (200 kg de lisier + 5 kg d'urée + 4 kg de chaux + 150 kg de « Pennisetum purpureum » dans les compostières);	-Début de fumage continue 25 jours après l'empoisonnement (200 kg de lisier + 4 kg d'urée + 3 kg de chaux + installation de 4 porc d'environ 60 kg sur pilotis) ; -Empoisonnement des silures (2 alevins / m <sup>2</sup> avec Pmi =5, 2 g) 5 jours après le début du fumage continue ;	-Début de fumage continue 25 jours après l'empoisonnement (350 kg de fiente en compostière + 9 kg d'urée + 5 kg de chaux + 4 kg de superphosphate) puis déversement de 50 kg de fiente de poule de chair en compostière chaque semaine ;	-Raclage du bloom algal à la surface de l'eau à l'aide d'une toile et des épuisettes ; - Empoisonnement des silures (2 alevins / m <sup>2</sup> avec Pmi = 3,2 g) à la 4 <sup>e</sup> semaine	E1, E2, E3 : Disparition progressive des têtards de grenouille E2, E3 : Début de reproduction des tilapias E2 : 4 tilapias morts E3 : 1 tilapia mort

	-Empoisonnement des silures (2 alevins / m <sup>2</sup> avec Pmi =5, 3 g) 5 jours après le début du fumage continue ;		-Empoisonnement des silures (2 alevins / m <sup>2</sup> avec Pmi = 4,8 g) 5 jours après le début du fumage continue ;	-Arrêt de renouvellement de l'eau du plan d'eau à la 5 <sup>e</sup> semaine ; -Installation du porc ; -Fertilisation minéral (50 g de superphosphate + 150g d'urée) ; -Renforcement des berges ; -Curage du bassin de stockage d'eau d'alimentation de l'étang - fertilisation minérale (4 kg de chaux + 300 g d'urée).	ET : Régularité des pluies torrentielles ; Secchi = 15 cm à la 4 <sup>e</sup> semaine et Envahissement progressif et rapide de la surface de l'eau par le bloom algal et 1 poisson mort ; -Disparition progressive des têtards ; -Dureté calcique très faible (15 mg/L) et transparence élevée (> 30 cm).
Mois d'élevage N°3	/	Alimentation régulière des porcs (10 L de bouillie de drêche des brasseries/porc chaque matin.	-Déversement de 50 kg de fiente de poule de chair en compostière chaque semaine ;	-Désherbage des berges ; -Renouvellement de l'eau et retrait du porc -4 jours plus tard, arrêt de renouvellement de l'eau + installation du porc + fertilisation minérale (300 g d'urée) ; -3 jours plus tard, renouvellement de l'eau + retrait du porc + raclage du bloom algal	E1, E2, E3 : Trop de pluie ce mois E1 : 1 tilapia mort ; -Début de reproduction des tilapias E2 : 3 tilapias morts ; -Forte augmentation du niveau d'eau et déversement des eaux de l'étang 3 dans ce plan d'eau à travers la berge qui les sépare E3 : Forte augmentation du niveau d'eau et déversement des eaux de cet étang dans le plan d'eau voisin ; -Envahissement au ¾ de la surface de l'eau par nymphaea alba. ET : pluies torrentielles -Envahissement de l'étang par le bloom algal et 1 mort ; -Début de reproduction des tilapias
Mois d'élevage N°4	-Désherbage des berges ; -Fertilisation continue (150 kg de « herbes à éléphant » en compostière + 2 kg de superphosphate + 4 kg d'urée) ; -2 semaines plus tard, renforcement de la fertilisation minérale (2 kg de superphosphate + 4 kg d'urée).	-Désherbage des berges -Positionnement des tuyaux du trop plein ; -Fertilisation minérale (2 kg de superphosphate + 4 kg d'urée) ; - Alimentation régulière des porcs (10 L de bouillie de drêche des brasseries/ porc chaque matin ; -Lutte contre les effets du vandalisme : brassage manuel de l'eau dès le constat fait, pour renforcer la quantité d'oxygène dans l'eau puis le jour suivant, raclage de la surface de l'eau à l'aide d'une toile de moustiquaire et enfin renouvellement de l'eau du plan d'eau ; -Renforcement de la fertilisation minérale (2 kg de superphosphate et 4 kg d'urée) 2 jours après le renouvellement de l'eau.	-Désherbage des berges ; -Faucardage pratiqué dans le plan d'eau ; -Fertilisation continue (200 kg de fiente de poule de chair en compostière + 2,25 kg de superphosphate + 4,5 kg d'urée) ; -2 semaines plus tard, renforcement de la fertilisation minéral (2,25 kg de superphosphate + 4,5 kg d'urée), puis déversement de 50 kg de fiente de poule de chair en compostière chaque semaine ;	-Augmentation de la vitesse de renouvellement de l'eau, renforcement de toutes les cages des porcs dans le complexe piscicole et réfection de la clôture ceinturant l'étang ; -Une semaine plus tard, arrêt de renouvellement de l'eau et renforcement de la fertilisation organique (10 L de lisier de porc) et installation du porc ; -Renouvellement de l'eau et raclage du bloom algal	E1 : Envahissement du plan d'eau au ¾ par le bloom algal E2 : Ce plan d'eau est vandalisé (destruction du tuyau de vidange et blocage du tuyau d'alimentation de l'étang en eau d'où baisse drastique du niveau d'eau ; envahissement complet de la surface de l'étang par un bloom algal et la formation de la résine par endroit entraînant ainsi le « pipage » matinal et diurne chez les tilapias présents dans le plan d'eau) quelques jours après le nettoyage du site. Ce drame a été constaté 3 à 4 jours plus tard par le chercheur qui aussitôt a alerté le pisciculteur ; ET : Ce plan d'eau est victime d'un piétinement par les porcs pendant une semaine ; il ya brassage complet de l'eau par des porcs échappés des enclos voisins et destruction complète de la clôture qui ceinture le plan d'eau d'où 1 poisson mort ;

					-Une semaine plus tard, transparence supérieure à 35 cm ; -Envahissement du plan d'eau par le bloom algal.
Mois d'élevage N°5	Pêche de contrôle à la senne sans baisser le niveau d'eau ; -Fertilisation organique (150 kg de « herbes à éléphant » en compostière).	Pêche de contrôle à la senne sans baisser le niveau d'eau ; - Alimentation régulière des porcs (10 L de bouillie de drêche/ porc / j	Pêche de contrôle à la senne sans baisser le niveau d'eau ; -Fertilisation organique (déversement de 50 kg de fiente de poule de chair en compostière chaque semaine).	-Désherbage des berges ; -Pêche de contrôle consistant chronologiquement à : -créer un bassin de stockage d'eau – baisser le volume d'eau – capturer à l'aide des épuisettes les poissons – procéder à la mesure de 30 ind./ espèce – procéder à l'extraction du contenu stomacal d'une trentaine de tilapia de taille variable – remise de l'étang en eau (2 / 07 / 2014); - 2 jours après cette pêche, renforcement de la fertilisation minérale (0,5 kg de superphosphate + 2 kg d'urée) et organique	/
Mois d'élevage N°6	/	-Nutrition acceptable des porcs (mise à disposition non quantifiée des déchets de restaurant, déchets et sang de poissons).	/	Déversement de 10 L de lisier de porc une fois par semaine	E2 : 1 porc est vendu par le pisciculteur E3 : -Absence de déversement des fientes dans le plan d'eau. ET : Le porc assurant la fertilisation organique continue de l'étang a été vendu en début de ce mois.
Mois d'élevage N°7	Déversement momentané et non quantifié de lisier de porc + 150 kg de « herbe à éléphant » en compostière	-Assez bonne nutrition des porcs (10 L de bouillie de drêche / porc / j	Déversement momentané et non quantifié de lisier de porc	Déversement de 10 L de lisier de porc une fois par semaine	/
Mois d'élevage N°8 et 9	Déversement momentané et non quantifié de lisier de porc	Alimentation régulière des porcs (10 L de bouillie de drêche / porc parfois accompagnée de « sussongo » chaque matin).	Déversement momentané et non quantifié de lisier de porc	Déversement de 10 L de lisier de porc une fois par semaine	/

*NB : Le porc sur pilotis dans l'étang ET reçoit 10 L de bouillie de drêche des brasseries de mars à mai 2014 (passe à 15 L de bouillie de drêche de juin à juillet 2014) accompagnés de plantes vertes (« sussongo » ou feuille de bananier) chaque matin.*

Le tableau XXI montre qu'un suivi journalier a été accordé à l'étang ET pendant la phase de démarrage. En effet pendant cette période, l'exploitation des données de la transparence et de la dureté calcique, l'observation attentionnée de l'état physique du plan d'eau, du comportement des poissons et de la pluviométrie ont conduit à des interventions adéquates et promptes (amendement minéral, arrêt de fertilisation, lutte contre le bloom algal) en cas de difficultés de fonctionnement du système.

## III.2. DISCUSSION

### III.2.1. Physico-chimie et chlorophylle *a* des eaux des étangs

Au cours de l'étude, la température des eaux a peu varié avec des valeurs comprises entre 22-27°C dans les étangs paysans et 24,4-28,7°C dans l'étang ET pendant la phase de démarrage. Pendant le cycle complet, les gammes de température obtenues se situent entre 23-26°C pour les étangs paysans et 24,5-27,5°C pour l'étang ET. Ces valeurs sont proches de celles enregistrées par Zebaze Togouet *et al.* (2005) dans le Lac Municipal de Yaoundé, et de celles de Dakwen *et al.* (2015) dans les étangs piscicoles de Simbock-Yaoundé. Elles sont typiques des petits lacs tropicaux peu profonds comme le lac George en Ouganda (Viner, 1969), le lac OPA (Akimbuwa et Adeniyi, 1996). La gamme de température de 15 à 28°C est favorable à la vie piscicole et les apports d'engrais organiques ont un effet rapide (Schlumberger, 2002). Des valeurs de température supérieures ou égales à 27°C ont été observées dans l'étang ET pendant le démarrage (de la 3<sup>e</sup> à la 7<sup>e</sup> semaine et à la 12<sup>e</sup> semaine) et au cours du cycle complet (les 2<sup>ème</sup>, 8<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> mois d'élevage). Ces valeurs se rapprochent de celles de Billard et Marie (1980) qui affirment que la croissance des poissons d'étang est optimale entre 25 et 35°C. De même, les températures comprises entre 27 et 32,5°C sont très favorables à la croissance des tilapias et des silures (Pouomogne, 1998 ; Coche *et al.*, 1997 ; FAO, 2018).

Quelle que soit la phase d'étude, les valeurs moyennes de turbidité, de MES et de couleur observées dans les étangs paysans ont dans l'ensemble été faibles (inférieures à 38 FTU ; 26 mg/L ; 369 PtC<sub>0</sub> respectivement). Dans l'ET elles sont restées supérieures à 86 FTU ; 54 mg/L et 478 PtC<sub>0</sub>. La transparence au disque de Secchi des eaux des étangs est très variable avec une valeur moyenne inférieure à 21 cm dans l'ET, à 26 cm dans l'étang E2 et supérieure à 30 cm dans les étangs E1 et E3, ce qui signifie que les étangs paysans sont plus pauvres en éléments nutritifs que l'étang ET (Pouomogne, 1998). Toutefois, les valeurs moyennes de transparence au disque de Secchi dans E2 et ET restent très favorables à la pisciculture, la forte transparence des eaux des étangs E1 et E3 traduisant aussi une plus faible activité biologique dans ces plans d'eau (Efolé Ewoukem, 2011).

Dans l'ensemble, quel que soit le plan d'eau, des corrélations positives entre les valeurs de turbidité, de MES et de couleur ont été obtenues. De même, des corrélations négatives entre ces mêmes paramètres et la transparence ont été relevées. Par ailleurs, le test de comparaison d'ANOVA suivi de celui de Student ont relevé une différence significative de turbidité, de transparence et de MES entre les étangs paysans et ET. Ce résultat corrobore avec celui de Schlumberger (2002) qui a montré que dans les étangs piscicoles fonctionnant normalement, la turbidité, la couleur et les MES sont corrélés positivement et chacun des ces paramètres est

négativement corrélé à la transparence. En effet, les particules en suspension limitent la pénétration de la lumière dans l'eau ce qui réduit la transparence. Billard et Marie (1980), Pouomegne (1998) puis Schulmberger (2002) affirment qu'une eau est bonne pour la pisciculture lorsque les MES sont inférieures ou égales à 30mg/L et la transparence est comprise entre 15 et 30 cm. Les valeurs de MES ainsi que celles de la transparence observées dans les étangs paysans se rapprochent de celles décrites en 2008 par Dakwen *et al.* (2015) dans un étang sommairement fertilisé en matières organiques dans la même région au Cameroun.

Hormis les 1<sup>er</sup>, 8<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> mois, l'étang ET a en tout temps présenté des fortes valeurs de MES (entre 42 et 396 mg/L). Ces données atypiques seraient dues à l'action conjuguée de quelques facteurs endogènes et exogènes au plan d'eau et seraient à l'origine de la mort des tilapias enregistrée les 6<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 14<sup>ème</sup> semaines d'élevage. En effet, ce cycle d'élevage a été très perturbé par des pluies torrentielles occasionnant un brassage complet de l'eau de l'étang, le piétinement prolongé du fond du bassin par les porcs échappés des porcheries voisines. A ces stress environnementaux, se seraient ajoutés la faible profondeur de l'eau qui engendre constamment le brassage et enfin le comportement des poissons élevés pendant la recherche de la nourriture (le cas du tilapia qui fouille la vase pour y trier ses aliments préférentiels). La légère augmentation des valeurs de MES (>30 mg/L) observée au 7<sup>ème</sup> mois d'élevage dans les étangs paysans se justifierait par l'action des fortes pluies du mois de Septembre 2012.

Au regard du profil des valeurs de la conductivité, il ressort que les valeurs de l'ET sont dans l'ensemble supérieures à celles des étangs paysans quelle que soit la phase d'étude. Toutefois, les valeurs de conductivité électrique obtenues au cours de ce travail sont restées inférieures à 700  $\mu$ s/cm donc favorables à la vie piscicole d'après Schlumberger (2002). Cependant, le fait que les données de ce paramètre dans l'étang ET sont restées presque tout le temps supérieures à celles des étangs paysans est indicateur d'un degré de pollution très avancé dans l'étang ET. Cette pollution est l'œuvre de la fertilisation organique assurée régulièrement par le lisier de porc et soutenu momentanément par la fertilisation minérale.

Les profils de l'oxygène de l'eau des différents étangs sont enchevêtrés mais au cours de la période de démarrage et du cycle complet, les valeurs moyennes de l'O<sub>2</sub> sont restées supérieures à 3,8 mg/L dans ET et inférieures à 3,4 mg/L dans les étangs paysans. Le minimum de besoin en oxygène pour les poissons d'étang est de 1 mg/L, la teneur la plus favorable à la vie piscicole étant au-delà de 4 mg/L (Billard et Marie, 1980 ; Mikolasek et Lazard, 1999 ; Mikolasek *et al.*, 2006). Les valeurs moyennes d'O<sub>2</sub> élevées sont non seulement le résultat de l'activité photosynthétique mais aussi celui du suivi minutieux accordé par le pisciculteur à l'étang ET à la phase de démarrage. En effet, toutes les périodes où les données de l'O<sub>2</sub> sont

supérieures à 4 mg/L dans ce plan d'eau au démarrage sont précédées par le raclage du bloom algal, le renouvellement doux et progressif de l'eau dans le plan d'eau ou par le désherbage des berges assuré par le pisciculteur. Par contre, les valeurs observées dans les étangs paysans sont surtout l'œuvre de l'activité photosynthétique, ce qui est confirmé par les corrélations positives entre l'O<sub>2</sub> dissous et les paramètres physicochimiques tels que la conductivité électrique, les orthophosphates, la turbidité, la couleur, les MES et la chlorophylle *a* enregistrés dans ces étangs. Leynaud et Verrel (1980), puis Zébazé Togouet (2000), révèlent que les bactéries aérobies utilisent l'O<sub>2</sub> pour participer à la minéralisation et en absence d'O<sub>2</sub>, ce sont les bactéries anaérobies qui réduisent les nitrites, les nitrates et les phosphates en dégradant la matière organique. Schlumberger (2002) précise que la dégradation de la matière organique consomme l'O<sub>2</sub> pour produire les éléments nécessaires à la photosynthèse.

Parmi les étangs paysans, les valeurs de l'O<sub>2</sub> la plupart du temps élevées dans E3 proviennent aussi de l'activité photosynthétique de macrophytes qui ont envahi le fond de ce plan d'eau dès le deuxième mois et y ont demeuré jusqu'au 6<sup>e</sup> mois d'élevage. Les multiples stress environnementaux qui ont sévi dans la ferme piscicole pendant le cycle d'élevage couplé à l'absence d'intervention rapide de la part du paysan seraient à l'origine des doses léthales enregistrées quelque fois dans les étangs paysans. Il s'agit précisément pour l'étang E1 de l'action conjuguée des pluies torrentielles et de la dégradation lente du fertilisant utilisé (*Pennisetum purpureum*) qui conduit momentanément, à la très faible disponibilité des éléments minéraux pouvant engendrer la photosynthèse et du déversement momentané et non quantifié du lisier de porc les 7<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> mois d'élevage. Pour les étangs E2 et E3, il s'agit des fortes pluies torrentielles enregistrées la 10<sup>ème</sup> semaine d'élevage. Ces pluies ont non seulement orienté le cours d'eau alimentant les étangs vers l'étang E3 mais elles ont dégradé la berge entre les étangs E2 et E3, ce qui a occasionné le déversement des eaux de l'étang E3 dans celles de l'étang E2 sans contrôle. Cependant, le pisciculteur n'a pu rectifier totalement ce désordre qu'à la douzième semaine d'élevage. Cette période est donc marquée par le lessivage du fond des eaux des étangs E3 et E2 et une forte réduction des algues ayant colonisé le milieu.

Dans l'ensemble, les teneurs de la dureté calcique sont relativement faibles dans tous les étangs comparés aux normes piscicoles (>30mg/L de CaCO<sub>3</sub>) quelle que soit la phase d'étude. Ces faibles valeurs pourraient se justifier par l'absence de terrain calcaire dans la zone d'étude. Les valeurs élevées obtenues dans l'étang ET par rapport aux étangs-paysans seraient dues aux apports de chaux vive reçue par ce plan d'eau au cours de l'élevage pour renforcer la fertilisation organique. Les valeurs de dureté calcique enregistrées dans l'étang ET sont pour la plupart favorables au développement des poissons (Schlumberger et Bouretz, 2018).

Les teneurs moyennes du Titre Alcalinimétrique Complet obtenues ont dans l'ensemble été comprises dans la gamme (47-100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) de celles recommandées par Pouomogne (1998) dans les étangs piscicoles. Celles des étangs paysans ont oscillé entre 33 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  et 46,7 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  mais sont restées supérieures à la valeur de 20 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  acceptable pour la production piscicole dans les conditions de pH supérieur ou égal à 6,5 (Sigma, 1983). Les valeurs inférieures à 20 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  enregistrées à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine d'élevage au cours du démarrage dans les étangs paysans pourraient se justifier par la dissolution incomplète du  $\text{CO}_2$  dans l'eau (Morin, 2012).

Quels que soient le plan d'eau ou la phase d'étude, les valeurs de pH sont restées dans la gamme (6-8) qui selon Tomedi Eyango *et al.* (2015) est favorable à la culture des poissons. Toutefois, les eaux de l'étang ET sont la plupart de temps basiques et très favorables à la croissance et à la santé des poissons cultivés (Lacroix, 2004); celles des étangs paysans sont le plus acides avec des faibles valeurs (< 6,5) enregistrées durant toute la phase de démarrage. D'après Morin (2012), lors de la dissolution du  $\text{CO}_2$ , l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) responsable de l'abaissement de la valeur du pH, a emporté sur l'ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) durant toute cette période dans ces plans d'eau. La mort de quelques poissons survenue les 4<sup>e</sup>, 10<sup>e</sup> et 11<sup>e</sup> semaines dans les étangs paysans serait causée par l'effet conjugué des basses teneurs de pH (< 6), d'alcalinité (< 20 mg/L) et d'oxygène (< 1 mg/L) enregistrées durant ces périodes dans ces plans d'eau. En effet, des différences significatives de dureté calcique, d'alcalinité et de pH ont d'ailleurs été enregistrées au cours du démarrage entre les étangs paysans et l'étang ET. Un pH aussi acide dans une eau de faible alcalinité (< 20 mg/L) est nocif pour le poisson élevé (Sigma, 1983).

Les teneurs des eaux en nutriments azotés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ) sont très supérieures lorsqu'on considère les valeurs moyennes en mg/L à celles recommandées (0,8-4 mg/L d'azote) par Schlumberger (2002) dans les étangs piscicoles. Ces paramètres confirment donc globalement un enrichissement des étangs en matière organique. Toutefois, les valeurs moyennes de  $\text{NO}_2^-$  enregistrées sont inférieures à 0,2 mg/L, donc favorables pour la vie piscicole (Billard et Marie, 1980). Cependant, les valeurs moyennes de  $\text{NH}_4^+$  quelle que soit la phase d'étude restent supérieures à 4 mg/L pendant les deux phases de l'étude dans tous les étangs étudiés à l'exception de E3 (3,6 mg/L au cycle complet et 3,9mg/L à la phase de démarrage). Ces valeurs sont très élevées par rapport à celles obtenues par Thabet (2017) en Tunisie dans des élevages de *O. niloticus* en cage et en enclos. En forte concentration (> 1 mg/L), l'azote ammoniacal est toxique pour les consommateurs dont le poisson (Leynaud et Verrel, 1980). Toutefois, le seuil de toxicité de cet élément varie avec le pH et commence à être

critique pour le poisson lorsque le pH est supérieur à 8 (Schlumberger, 2002). Le rapprochement des profils de pH et de l'azote ammoniacal des eaux de ET conduit à la conclusion selon laquelle la mort de quelques tilapias les 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> semaines serait causée par le colmatage des branchies par les MES couplé à la toxicité de l'azote ammoniacal en cette période.

Les teneurs des eaux en nutriments phosphatés ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont la plupart de temps supérieures à celles proposées par Schlumberger (2002) pour les étangs piscicoles (0,2 – 0,5 mg  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ). Les valeurs moyennes de  $\text{PO}_4^{3-}$  dans les étangs ET, E1, E2 et E3 sont respectivement de 1,4±2,5 mg/L ; 1,8±1,8 mg/L ; 3,1±2,9 mg/L et 2,2±2,5 mg/L durant le démarrage et de 1,05±1,58 mg/L ; 2,6±2,9 mg/L ; 3,1±2,9 mg/L ; 2,61±3,7 mg/L dans le cycle complet. Ces valeurs restent faibles comparées à celles obtenues par Efole Ewoukem (2011) dans des étangs expérimentaux conduits à l'Ouest du Cameroun. Dans l'étang ET, les fortes valeurs (> 0,5 mg  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ) enregistrées les 1<sup>ère</sup>, 6<sup>ème</sup> et 14<sup>ème</sup> semaines se justifieraient par les pluies torrentielles survenues en ces périodes d'échantillonnage qui auraient relargué dans la colonne d'eau le phosphore piégé dans la vase. Par contre, les très fortes teneurs de  $\text{PO}_4^{3-}$  (> 1 mg/L) régulièrement observées dans les étangs paysans résulteraient non seulement de l'effet des pluies torrentielles mais aussi de l'insuffisance des conditions de renforcement des activités photosynthétiques (faible température, faible alcalinité, faible dureté calcique, pH acide) (Schlumberger, 2002).

La disponibilité de l'azote et du phosphore dans la colonne d'eau pour des processus photosynthétiques est fonction de l'alcalinité totale de l'eau (Daumer *et al.*, 2007). Au-dessous d'un certain seuil (<20 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), la fixation de l'azote par les microorganismes du sédiment, les fortes concentrations en  $\text{NH}_4^+$  ainsi que la précipitation du phosphore sont favorisées au détriment de la photosynthèse (Golterman, 1984 ; Labroue *et al.*, 1995). Des corrélations positives ont été d'ailleurs enregistrées entre l'alcalinité et les orthophosphates dans les étangs paysans au cours du démarrage. Les valeurs de l'alcalinité inférieures à 20 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  enregistrées dans les étangs paysans sont donc non seulement défavorables à la nutrition des tilapias et des Silures (Pouomogne, 1998), mais aussi à la mise en place de la photosynthèse (Morin, 2012).

Les teneurs moyennes de la chlorophylle *a* sont très faibles dans l'étang ET (0,04 – 0,05 mg/L) comparées à celles des étangs paysans (0,16 – 0,42 mg/L pour E1 ; 0,17 – 0,58 mg/L pour E2 et 0,17 – 0,33 mg/L pour E3) quelle que soit la phase d'étude. Ceci se justifierait par le broutage accentué effectué dans le plan d'eau par tous les consommateurs de premier ordre dans la chaîne alimentaire, les conditions de vie étant le plus souvent favorables (Côté *et al.*, 2019). De très fortes valeurs de chlorophylle *a* (> 1 mg/L) ont été enregistrées dans les étangs

paysans la 7<sup>ème</sup> semaine et le 5<sup>ème</sup> mois pour E3, les 5<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> mois pour E1 et E2. En effet, du fait des teneurs élevées de l'azote ammoniacal et de la rareté du nitrate dans ces étangs, les cyanobactéries constituent le groupe de phytoplancton qui se développe le plus. Cependant, ils représentent une impasse trophique pour la plupart des espèces zooplanctoniques, mais sont inscrits parmi les aliments préférentiels des tilapias. Toutefois, les conditions de vie défavorables observées dans les étangs paysans freinent le rythme d'alimentation du tilapia. A cette raison s'ajoute le fait que les femelles des tilapias à la 7<sup>ème</sup> semaine ont commencé à se reproduire. Lacroix (2004) a montré que lors de la reproduction des tilapias, les femelles incubent les œufs dans leur bouche jusqu'à l'éclosion, ce qui les empêche de se nourrir pendant toutes ces périodes.

Au regard des analyses des données des paramètres physico-chimiques et des interactions qui existent entre ces paramètres, les conditions défavorables à la croissance des tilapias et des silures ont été le plus rencontrées dans E3, suivi de E1 et enfin de E2. Le test de corrélation de Spearman et l'ACP révèlent que pendant la phase de démarrage, l'étang ET compte le plus grand nombre de corrélations entre les paramètres physicochimiques et est associé aux plus fortes valeurs des paramètres de productivité à savoir la dureté calcique, l'alcalinité, la température, le pH, l'oxygène et les MES, ce qui confirme que le suivi accordé à cet étang au démarrage a favorisé l'équilibre abiotique permettant la bonne nutrition du zooplancton et des poissons ainsi qu'un fonctionnement acceptable de ce milieu durant tout l'élevage.

Il ressort de ces analyses que les différentes valeurs des principaux paramètres physico-chimiques de ces étangs piscicoles à savoir pénétration de la lumière dans l'eau, oxygène dissous, couleur, MES, température, azote ammoniacal, nitrites, orthophosphates relevées dans les plans d'eau étudiés sont caractéristiques des milieux oligo-mésotrophes (E3) mésotrophes (E1 et E2) et eutrophes (ET) lorsqu'on s'en tient à la classification de Wurtz et Durborow (1982); les valeurs de l'alcalinité et de l'oxydabilité confirmant cette conclusion. De telles variations de la physico-chimie affectent inéluctablement la composition du zooplancton des étangs piscicoles.

### **III.2.2. Peuplement zooplanctonique**

Au cours de cette étude, 54 espèces au total ont été identifiées dont 83% de rotifères, 9% de cladocères et 8% de copépodes, ET comptant le moins d'espèces. Pouomogne (1998) a montré que les étangs à fertilisant organique présentent une forte richesse spécifique du zooplancton où les rotifères sont majoritaires. De toutes ces espèces, celles qui ont présenté un taux d'occurrence de plus de 40% dans au moins un étang relèvent de la famille des Cyclopidae

pour les copépodes, des Daphniidae, Psisidae et Moinidae pour les cladocères et de 11 familles dont les Brachionidae sont majoritaires pour les rotifères. Cette observation a déjà été faite par Nziéleu Tchagnouo *et al.* (2012) dans les Lac Ossa et Wembé au Cameroun.

Sur le plan temporel, on observe une différence significative de richesse spécifique entre tous les autres étangs et E3 à la phase de démarrage, ce dernier comptant le plus grand nombre d'espèces à chaque prélèvement. Zébazé Togouet *et al.* (2015) relèvent à cet effet que le nombre d'espèces est inversement proportionnel au degré de fertilisation dans les milieux lentiques, ce qui signifie que les eaux de ces étangs n'ont pas reçu la même quantité de nutriments pendant la phase de démarrage, les eaux les plus fertilisées pouvant être E1 suivi de E2. La différence de fertilisation serait donc responsable de l'inadaptation de certaines espèces zooplanctoniques au milieu. Cette situation est restée presque semblable au cours du cycle complet bien que pour cette phase, aucune différence significative n'a été observée.

Par ailleurs, les espèces zooplanctoniques de ces étangs ont déjà été mentionnées dans des eaux peu profondes au Cameroun (Zébazé Togouet *et al.*, 2005 ; Zébazé Togouet 2008 ; Nziéleu Tchagnouo, 2015). Elles sont largement répandues dans les régions tropicales et subtropicales. Elles sont pour la plupart cosmopolites (Sergers & Mertens, 1997), préfèrent le compartiment pélagique pour certains et périphtyque pour d'autres. Toutefois, *Rotaria neptuna* et *Testidunella patina* récoltés dans ces eaux sont benthiques (Schlumberger et Bouretz, 2018). Cette observation montre qu'aucun compartiment de ces étangs piscicoles n'a été dépourvu de zooplancton durant toute l'étude ; ce qui indique la disponibilité de la protéine animale dans toutes les niches écologiques consultées par les tilapias et les silures pendant la recherche de la nourriture.

En ce qui concerne l'abondance des différents taxa de zooplancton, les rotifères représentent plus de la moitié de l'abondance totale relative quelle que soit la phase d'étude ; c'est-à-dire 85,9%, 67,9%, 74,2% et 87,4% respectivement pour E1, E2, E3 et E4 ; les cladocères 5,9%, 15,01%, 5,1% et 3,01%, les copépodes 2,03%, 9,07%, 1,5% et 3,15% pendant la phase de démarrage et par les larves nauplii. De même, au cours du cycle complet, les rotifères représentent 80,5% ; 71,4% ; 70,9% et 87,8% respectivement pour E1, E2, E3 et E4, les cladocères 4,3%, 14%, 5,3% et 3,2% les copépodes 4%, 8,1%, 4,5% et 2,4% le reste représentant les larves. Les rotifères sont les plus abondants quels que soient le plan d'eau ou la phase d'étude. Dans les pièces d'eau à conditions environnementales instables, la reproduction chez les rotifères est sexuée et la croissance est fonction de la qualité de la quantité de nourriture ainsi que de la température (Pourriot *et al.*, 1982 ; Côté *et al.*, 2019). La plus faible abondance des rotifères enregistrée dans E3 pendant l'étude se justifierait par l'effet

conjugué de la prédation exercée par les alevins de tilapia et le copépode carnivore *Mesocyclops salinus* dont l'abondance n'est pas négligeable dans ce plan d'eau. Nziéleu Tchagnou (2016) confirme que *Mesocyclops salinus* est un prédateur potentiel de rotifères et de petits cladocères, il occupe régulièrement la même niche écologique que les alevins de poissons avec qui il entre en compétition pour la nourriture. Il peut s'en déduire que dans les conditions de température, pH et alcalinité favorables, la fertilisation organique est proportionnelle à l'abondance des rotifères.

Dans l'ensemble, l'étang ET présente une abondance relative globalement élevée (25209 et 14745 ind/L au total) comparée à celle des étangs paysans (2847 et 2473 ind/L (E1), 6548 et 3508 ind/L (E2) et 2713 et 1788 ind/L (E3)). De même, la biomasse globale est de 169,6 et 100,2 g C/L pour ET 3,2 et 3,06 g C/L pour E1 ; 9,7 et 5,6 g C/L pour E2 1,6 et 1,8 g C/L pour E3 durant la phase de démarrage et le cycle d'élevage complet respectivement. Selon Schlumberger et Bouretz (2018), l'abondance du zooplancton filtreur est liée à la fois aux ressources trophiques disponibles et à la pression de prédation qu'il subit de la part des juvéniles de poissons

Cette forte abondance couplée à la forte biomasse se justifie par le fait que le zooplancton de cet étang se serait alimenté en broutant préférentiellement les algues, les conditions physico-chimiques du milieu (pH > 6, alcalinité > 47mg CaCO<sub>3</sub>/L, température > 25°C) étant favorables non seulement à l'activité photosynthétique mais aussi à la croissance et à la reproduction du zooplancton (Schlumberger, 2002 ; Ustun *et al.*, 2019). Par contre, les très faibles abondances et biomasses enregistrées dans E3 quel que soit la phase se justifient par l'effet de la compétition pour les éléments nutritifs entre les macrophytes ayant envahi le fond de cet étang et le phytoplancton couplée au ralentissement de la nutrition chez le zooplancton suite à l'acidité des eaux et aux différents stress environnementaux subis par ce plan d'eau. Toutefois, le zooplancton des étangs E1 et E2 serait la plupart du temps détritivore et bactériophage ; la croissance étant régulièrement ralentie par le pH acide. Leur taille réduite empêcherait périodiquement leur choix alimentaire sur les cyanobactéries, phytoplancton majoritaire dans les étangs piscicoles en zone tropicale (Billard et Marie, 1980 ; Schroeder *et al.*, 1990, Pouomogne, 1998 et 2007). Aussi, dans l'étang E1, la fermentation lente de *Pennisetum perperum* retarderait la disponibilité des détritiques ou des éléments minéraux nécessaires pour la photosynthèse.

En outre, une analyse par groupe de peuplement révèle que les espèces fréquemment rencontrées dans ces plans d'eau ne contribuent pas de la même façon à l'abondance et à la biomasse zooplanctonique. Ainsi, la communauté des rotifères est dominée par *Asplanchna*

*brightwelli*, *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus quadridentatus*, *Polyarthra vulgaris*, *Rotaria rotaria*, *Epiphanes macrourous*, *Hexarthra intermedia*, *Filinia longiseta* et *Testidunella patina*. La communauté des microcrustacées est dominée par *Moina micrura* et *Mesocyclops salinus*. La plupart de ces organismes sont caractéristiques des milieux eutrophes (Ruttner-Kolisko, 1977 ; Pourriot, 1980 ; Sladeczek, 1983 ; Koste & Shiel, 1991 ; Nogrady *et al.*, 1993 ; Shiel, 1995). Les espèces caractéristiques décrites dans cette étude sont toutes thermophiles et affectionnent les eaux enrichies en matières organiques (Oswald, 2013). *Brachionus angularis* est le plus abondant dans le peuplement zooplanctonique quel que soit le plan d'eau. Cette observation se justifie par le fait que ce rotifère réagit au polluant organique par la reproduction et échappe facilement à la prédation grâce à la petite taille des individus (Marcé *et al.*, 2005). Le Cladocère *Moina micrura* réagit de même dans les milieux riches en matière organique mais reste la proie préférentielle des alevins de poissons et des poissons zooplanctonophages (Smirnov et Korovchnisky, 1995 ; Fernando, 2002). Quant au Copépode *Mesocyclops salinus*, il se développe mieux dans les milieux à ressources alimentaires limitées ; il est un excellent prédateur, compétit avec les alevins de poissons et, grâce à sa plasticité alimentaire, il croit et se reproduit aisément dans ce type de milieu comparativement aux Cladocères (Zébazé Tougouet *et al.*, 2015 ; Usten *et al.*, 2019). L'analyse statistique des abondances et biomasses des espèces caractéristiques confirme ces observations.

Il ressort de toute cette analyse que dans les étangs piscicoles où sévit le stress environnemental, plus la quantité et la qualité de nourriture disponible est acceptable au cours de l'élevage pour un plan d'eau donné, moins la richesse spécifique est élevée, plus l'abondance et la biomasse du zooplancton sont élevées, et plus les Rotifères (tels que *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna brightwelli*) suivi des Cladocères (tel que *Moina micrura*) se développent dans le milieu. Aussi, un suivi rigoureux de ce type de plan d'eau durant le premier trimestre de l'élevage déporte forcément son eau à l'état eutrophe et la maintient vraisemblablement dans cet état jusqu'à la fin du cycle d'élevage. Il s'en déduit que l'étang ET est eutrophe, l'étang E2 mésotrophe, l'étang E1 oligomésotrophe à mésotrophe et l'étang E3 oligomésotrophe. Ce classement éclaire davantage celui proposé dans ce travail au terme de l'analyse des données physicochimiques.

### III.2.3. Ichtyofaune

Au terme de la phase de démarrage, le contenu stomacal de *O. nitoticus* cultivé dans l'ET présente 45,5% de zooplancton et 54,4% de phytoplancton pour des alevins d'au moins

30 g de poids. Chez les alevins de plus de 30 g de poids, l'estomac contient 50% de zooplancton, 30% de phytoplancton, 20% de macroinvertébrés et une quantité importante de détritus. Cette observation avait déjà été faite par Dabbadié (1996) travaillant dans des étangs expérimentaux fertilisés au son de blé associé aux fertilisants minéraux en Côte d'Ivoire. Ce résultat témoigne que le zooplancton est au centre de l'alimentation du tilapia (à près de 50 %) chez qui il transfère la matière biologique consommée ; et ceci quel que soit le stade de développement. De même, l'analyse du contenu stomacal des tilapias de quelques étangs semi-intensifs logés à l'Ouest du Cameroun (Pouomogne, 1998) a confirmé cette conclusion. Selon Blé *et al.* (2008), ce poisson a montré au stade juvénile, une préférence pour les invertébrés et les algues.

Du stade juvénile (poids  $\leq 30$  g) au stade adulte (poids  $> 30$  g), les résultats révèlent que pour tout le zooplancton consommé par *O. niloticus*, le taux de Cladocères consommé reste constant ( $\sim 20\%$ ) alors que le taux de Rotifères baisse (de 67 à 31%) et celui des Copépodes augmente (de 11 à 50%). En effet, le poisson adopte durant tout son cycle de vie, différentes attitudes et aptitudes alimentaires en fonction de l'aliment présent dans son environnement et de la taille de l'ouverture de sa bouche. Autrement dit, lors de sa phase juvénile, le poisson a tendance à solliciter les petites proies selon la largeur de sa bouche alors que dès sa phase adulte il délaisse les petites proies pour s'intéresser aux proies beaucoup plus grandes (Efolé Ewoukem *et al.*, 2015). Aussi, quelles que soient les modifications de comportement alimentaire que le tilapia peut adopter, son régime alimentaire contient toujours les cladocères. Amoros (1984) confirme d'ailleurs que les cladocères sont utilisés pour cultiver les alevins de poissons. Ces résultats permettent de conclure que l'étude du rendement des étangs piscicoles en général et des étangs de tilapia en particulier doit reposer essentiellement sur la connaissance de la biologie et de l'écologie de leur communauté zooplanctonique.

En ce qui concerne la performance d'élevage, au terme de la phase de démarrage, le poids moyen final et la croissance spécifique ont été respectivement de  $62,3 \pm 22,9$  g et  $0,47$ g/j dans E1 ;  $70,8 \pm 34$  g et  $0,54$ g/j dans E2,  $59,3 \pm 16,8$  g et  $0,42$ g/j dans E3 et de  $129,1 \pm 26,6$  g et  $1,14$  g/j dans E3 et  $142 \pm 55,2$  g et  $2,04$ g/j dans ET. Le poids moyen final obtenu dans ET et celui de E2 ont déjà été mentionnés par Pouomogne (1998) dans quelques étangs semi-intensifs entretenus à l'Ouest du Cameroun. Les fortes valeurs de ces paramètres enregistrées dans ET seraient tributaires du fertilisant organique utilisé (lisier de porc), de la technique de fertilisation appliquée (installation du porc sur pilotis, ce qui apporte journalièrement et en quantité presque constante de la matière organique au plan d'eau) et de l'entretien rigoureux apporté au plan d'eau durant cette phase. Toutefois, les fortes valeurs obtenues dans E2 comparée à E1 et E3 témoignent du fait que le lisier de porc utilisé dans ce plan d'eau serait meilleur fertilisant que

la fiente de poule utilisée dans E3 et la plante *Pennisetum purpureum* employée dans E1. En effet les fientes de poules de fermes contiennent plus de sciure de bois que d'excréments d'animaux. Cette sciure de bois tout comme la plante utilisée dans E1 subit dans la compostière une fermentation lente qui non seulement consomme une partie de l'oxygène disponible dans le milieu mais aussi remet tardivement dans l'eau les éléments minéraux responsables de la photosynthèse.

Au terme du cycle complet d'élevage, le poids moyen final le plus élevé de *O. niloticus* est obtenu dans ET (321,5g) comparé à celui des étangs paysans (208 g pour E1, 258 g pour E2 et 182 g pour E3). De plus, ET présente une quantité élevée de tilapia de taille non marchande (~9kg). Cette observation indiquerait que les silures n'ont pas été à mesure de contrôler efficacement la reproduction anarchique du tilapia. Ceci se justifierait par le fait que les silures de l'étang ET ont eu régulièrement en présence, le zooplancton, aliment de choix pour la ressource protéique d'origine animale pour le poisson. Cette observation s'éloigne de celle de De Graaf et Janssen (1996) qui ont observé une forte diminution du nombre d'alevins produits par polyculture avec *C. gariepinus* dans les étangs sémi-intensifs. Oyelese *et al.* (2014) ont montré qu'une alimentation à satiété réduit la pression de prédation de *C. gariepinus* sur les alevins. Il ressort de ces observations que le taux d'empoisonnement appliqué (1 tilapia pour 2 silures) doit être revu lorsque l'étang en polyculture de *O. niloticus* et *C. gariepinus* est assez bien entretenu, ce qui augmenterait davantage le rendement. Quant aux étangs paysans, la pression de prédation aurait été forte dans tous les plans d'eau au regard de la quantité de poissons de taille non marchande (~4 kg). Pour *C. gariepinus*, le poids moyen final est plus élevé dans E2 (1381g) comparé aux étangs E1 (1010g), E3(989) et ET (1215g), les plus gros poissons (>2 kg) étant pêchés dans les étangs paysans, la régularité des paramètres physico-chimiques défavorables, l'enrichissement insuffisant des plans d'eau en matière organique auraient indirectement favorisé la forte pression de prédation de *C. gariepinus* sur ses proies et par conséquent une compétition intra spécifique conduisant à la diversification des tailles de silures dans les étangs (Elegbe *et al.*, 2015), ce qui aurait développé le cannibalisme au sein de la même fratrie (Dabbadié *et al.*, 2002 ; Lacroix 2004).

A la fin de l'élevage, la croissance spécifique et le taux de survie ont été respectivement de 0,7 g/j et 23,2% dans E1 ; 0,88 g/j et 27% dans E2 ; 0,6 g/j et 14,5% dans E3 et 1,11 g/j et 61,1% dans ET pour *O. niloticus*. Pour *C. gariepinus*, ils ont été de 4,12 g/j et 11% dans E1 ; 5,63 g/j et 16% dans E2 ; 4,03 g/j et 9,5% dans E3 et 4,96 g/j et 40% dans ET. Ces résultats s'éloignent de ceux de Olélé et Tighiri (2012) qui ont obtenu en polyculture de *O. niloticus* et *C. gariepinus* à la densité 3/1 des taux de survie respectif de 60,8% et 98,3%. Ils s'éloignent

aussi de ceux de Zango (2017) qui a enregistré un taux de survie de 65% et une croissance spécifique de 0,26 g/j pour *O. niloticus* en polyculture avec *C. gariepinus* dans des étangs semi intensifs chargés à 1,2 ind./m<sup>2</sup> et nourris aux fientes de poules. Pouomogne (1998) a montré que la vitesse de prise de poids varie selon les conditions d'élevage et peut dépasser 5 g/j à partir de 500 g de poids chez *C. gariepinus*. Selon ce même auteur, le taux de survie de ce poisson varie selon les conditions d'élevage, la densité de mise en charge et le stade de croissance à la mise en charge.

La faible croissance spécifique de *O. niloticus* dans les étangs paysans comparée à celle de l'étang ET serait due au fait que les paramètres physico-chimiques de l'eau de l'élevage étaient pour la plupart du temps défavorables à l'alimentation du poisson, ceci couplé à la compétition interspécifique qui aurait existé entre les alevins de *O. niloticus* et les Copépodes, l'espèce caractéristique du zooplancton dans les étangs E1 et E3 étant le célèbre prédateur *Mesocyclops salinus*. Ce Copépode est même parfois ectoparasite du poisson (Schlumberger, 2002 ; Pouomogne, 2007 ; Schlumberger et Bouretz, 2018). Toutefois, les hécatombes observées dans les étangs paysans après l'empoissonnement couplées aux mauvaises conditions d'élevage seraient responsables des faibles taux de survie de *O. niloticus* observés dans ces plans d'eau, comparés à ceux de l'étang ET. Aussi, les hécatombes survenues au sein de la population de *O. niloticus* à la mise en charge ont réduit considérablement le nombre de proies et la quantité de protéines animales disponibles dans les chaînes alimentaires aboutissant à *C. gariepinus* et ont ainsi accentué le cannibalisme au sein de cette population, d'où l'enregistrement de très faibles taux de survie chez *C. gariepinus* dans les étangs paysans comparés à celui de l'étang ET. Les valeurs de la croissance spécifique observée dans tous ces plans d'eau (<4 g/j) chez *C. gariepinus* confirment que sa nutrition est très peu influencée par la médiocrité des conditions du milieu de vie. Elegbe *et al.* (2015) ont montré que la co-culture *O. niloticus* et *C. gariepinus* améliore leurs performances.

Les faibles performances d'élevage relevées globalement dans les étangs paysans résulteraient des hécatombes enregistrées en début du cycle couplées à la nutrition ralentie suite aux faibles teneurs du pH et de la dureté calcique de ces eaux. En effet, les ions calcium soutiennent l'activité musculaire, entrent dans le processus de l'ossification chez le poisson et le protègent contre les maladies (Lacroix, 2004). Selon Pouomogne (1998), E1 et E3 ont été un peu moins extensifs (récolte comprise entre 1,2 et 2,5 t/ha/an) et E2 et ET ont été sémi-intensifs (récolte comprise entre 3,5t et 10 t/ha/an). Ces résultats confirment le classement qui a été fait pour ces plans d'eau selon le degré de trophie. Ainsi donc, une bonne fertilisation couplée à un suivi minutieux du plan d'eau pendant le premier trimestre d'élevage maintient l'eau au stade

eutrophe et réduit l'action nocive des Copépodes tout au long de l'élevage. Les faibles taux de rentabilité par are enregistrés au cours de cette étude en ce qui concerne les étangs paysans ont déjà été relevés par Pouomogne et Pemsil (2008) travaillant dans les étangs piscicoles au Cameroun. Par ailleurs Mikolasek *et al.* (2009 b) en recyclant les effluents d'élevage porcin dans quelques étangs piscicoles au Vietnam ont pu montrer que le lisier de porcs employé comme principal fertilisant dans des fermes piscicoles assez bien entretenues produit un taux de rentabilité satisfaisant ; ce qui conduit à la viabilité et à la durabilité de ce type d'élevage.

#### **III.2.4. Stratégie de gestion d'un étang piscicole**

Un examen des tableaux V et XXI relève un écart non négligeable entre la théorie et la pratique. En effet, au cours de la période d'élevage, après que le chaulage, la fertilisation de base et l'empoissonnement soient effectués, le pisciculteur a contrôlé dans la mesure du possible la profondeur de pénétration de la lumière dans l'eau de l'étang à l'aide du disque de Secchi et le comportement des poissons au petit matin. De même, des interventions sont tardivement faites quand le plan d'eau présente une difficulté de fonctionnement (cas par exemple de l'envahissement du plan d'eau par les cyanobactéries ou par *Nymphaea alba*). Aussi, le contrôle de routine a été fait tant bien que mal au cours de la phase de démarrage, et la nutrition des porcs sur pilotis n'a pas respecté les normes zootechniques indiquées dans la feuille de route. En bref, le programme de gestion établi au départ se montre donc respecté sans aucune rigueur, faute de main d'œuvre qualifiée et de mauvaise planification du temps et des revenus du G.I.C. Le manque d'encadrement et de formation, le faible niveau scolaire et le manque de financement seraient responsables du comportement adopté par les pisciculteurs dans cette zone d'étude (Mélécony *et al.*, 2015 ; FAREC, 2019 ; N'dri *et al.*, 2016).

Il ressort de cette analyse un scénario d'élevage en polyculture de *Clarias gariepinus* et d'*Oreochromis niloticus* (Tableau XXII) qui servirait d'outil de performance des étangs piscicoles dans la région écologique d'Ekoumdoum et ses environs. Il s'agit d'une stratégie de gestion des étangs piscicoles qui met l'accent sur les procédés de chaulage, fertilisation, empoissonnement et suivi des plans d'eau en adéquation avec la zone d'étude.

**Tableau XXII** : Scénario d'élevage en polyculture de *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* associé à l'élevage de porcs dans un étang en dérivation de 100 m<sup>2</sup>.

Période	Activités du paysan
Fin de l'assec	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ceinturer si possible le plan d'eau d'un grillage haut et à mailles réduites pour réduire son envahissement par les prédateurs ou les compétiteurs des alevins</li> <li>- épandre la chaux (20 kg)</li> <li>-faire entrer de l'eau jusqu'à 20 cm de profondeur</li> <li>-procéder au fumage de base (1,5 kg superphosphate + 3 kg urée + 25 kg lisier de porc séché)</li> <li>Ajouter de l'eau jusqu'à 70 à 80 cm de profondeur</li> <li>-contrôler le Secchi tous les 3 jours</li> </ul>
1 <sup>ère</sup> semaine d'élevage (10 à 12 jours après le fumage de base)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Si Secchi autour de 20 cm alors empoissonner le plan d'eau à la proportion de <b>1</b> <i>O. niloticus</i> ( 20 g à 30 g /ind.) et <b>3</b> <i>C. gariepinus</i> (environ 50 g/ind.) le matin (autour de 9 h). Prendre soins de laisser chaque alevin partir librement du milieu de stockage à l'étang.</li> <li>-Contrôler le Secchi tous les 3 jours</li> <li>-Construire une porcherie solide sur une berge de l'étang et canaliser les eaux de nettoyage, les urines et les fèces vers l'étang de manière à ce que ces déchets rentrent dans l'étang à la volonté du paysan.</li> </ul>
2 <sup>e</sup> semaine d'élevage	<p>Si Secchi &gt; 20 cm à plusieurs points du plan d'eau, et comportement des alevins normal, alors installer à la porcherie, 1 porc (d'environ 80 kg) et dès lors le nourrir convenablement (ration journalière d'environ 6% du poids vif de l'animal + plantes diverses : feuilles des herbes à éléphant, de patate, de bananier par exemple)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-procéder à un renouvellement doux et progressif de l'eau pour assurer une ventilation continue de l'eau.</li> </ul>
3 <sup>e</sup> à la 11 <sup>e</sup> semaine	<p>Accorder une attention particulière à l'étang. Pour cela, il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Contrôler le Secchi tous les 3 jours ainsi que la profondeur totale de l'eau de l'étang (l'idéal serait de maintenir le volume d'eau initial durant le cycle d'élevage)</li> <li>-se rassurer chaque matin du bon fonctionnement des canaux d'amenée et de sortie d'eau)</li> <li>- renforcer les berges si cela est nécessaire pour éviter les fuites non contrôlées d'eau.</li> <li>-nourrir le porc convenablement</li> <li>-Observer le comportement des poissons chaque matin</li> <li>-Si Secchi &lt; 20 cm et « pipage » matinal pratiqué par les poissons alors brasser l'eau de l'étang et suspendre momentanément la fertilisation organique (fermer le canal d'alimentation de l'étang par le porc)</li> <li>- si Secchi &gt; 30 cm renforcer la fertilisation organique par la fertilisation minérale à la dose de 0,25 kg superphosphate + 0,5 kg urée</li> <li>-Si le bloom algal envahi la surface de l'eau, le racler à l'aide d'une toile et des épuisettes, renouveler l'eau même pendant 3 jours et reprendre le programme de fertilisation</li> <li>-Après une forte pluie, curer le bassin de stockage d'eau s'il y en a et nettoyer le grillage du canal d'amenée</li> </ul>
12 <sup>e</sup> et 14 <sup>e</sup> semaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>-déherber les berges</li> <li>-continuer le contrôle journalier cependant réduire progressivement puis annuler le taux de renouvellement de l'eau du plan d'eau ; ce qui marque la fin de la phase de démarrage.</li> </ul>
15 <sup>e</sup> semaine au 9 <sup>e</sup> mois	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contrôler la transparence tous les 10 jours</li> <li>-Observer le comportement des poissons tous les matins et l'état du plan d'eau après avoir nourri le porc puis intervenir éventuellement si nécessaire</li> </ul>

N.B. : Vérifier la dureté chaque fois (une eau dure est bonne pour la pisciculture. Elle mousse difficilement au savon) et la renforcer au besoin par ajout de 4 kg de chaux environ.



**CONCLUSION,  
RECOMMANDATIONS ET  
PERSPECTIVES**

Le présent travail avait pour objectif principal de proposer une stratégie de gestion rationnelle et durable des étangs de pisciculture semi-intensive dans la région écologique d'Ekoumdoum à Yaoundé, de façon à réduire le taux de mortalité des poissons pendant le premier mois d'élevage. Pour mener à bien cette étude, l'échantillonnage a été fait à fréquence variable pour la physico-chimie et la biologie en tenant compte du cycle aquacole, puis au terme de la phase de démarrage et à la fin du cycle complet d'élevage.

Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux des étangs paysans ont été légèrement acides, pauvres en Matières En Suspension et en éléments dissous, de très faible conductivité et même peu oxygénées pour E1 et E2. Cependant, l'eau de l'étang ET a été alcaline, très turbide, riche en MES et en éléments dissous. Ainsi, selon le degré de trophie ET est eutrophe alors que E1 et E2 sont mésotrophes et E3 oligomésotrophe.

L'étude du peuplement zooplanctonique a confirmé ce classement. L'analyse spatio-temporelle de la richesse spécifique, de l'abondance et de la biomasse du zooplancton a montré que dans ET, parmi les taxa étudiés, les Rotifères sont les plus contributifs en abondance et biomasse dès les premiers mois d'élevage jusqu'à la fin du cycle, ce qui signifie que les eaux de ET sont restées eutrophes pendant tout l'élevage. L'état des eaux de l'étang ET ainsi présenté a été possible grâce à l'entretien minutieux, au contrôle de routine journalier accordé par le pisciculteur à ce plan d'eau pendant la phase de démarrage.

L'inventaire du contenu stomacal de quelques individus de *Oreochromis niloticus* de ET a permis de retenir que le zooplancton et principalement les Cladocères, représente l'aliment préférentiel de ce poisson lorsque les conditions de vie sont favorables. Quant à *Clarias gariepinus*, l'analyse de son poids moyen final et de sa croissance spécifique au terme de chaque phase d'étude dans les étangs considérés, a montré que ce poisson est carnivore à un stade de développement (>150 g), et pratique le cannibalisme lorsque ses proies (zooplancton, juvénile de *Oreochromis niloticus*) sont peu nombreuses dans son milieu de vie, ce qui n'est pas favorable à la productivité de l'étang. Il ressort de l'analyse des performances d'élevage que *Oreochromis niloticus* des étangs paysans présente une nutrition ralentie à cause de multiples stress environnementaux qui sévissent de façon prolongée dans ces étangs, d'où la faible croissance spécifique et le faible taux de survie observés.

Ces indicateurs de performance ont été aussi influencés par la qualité de fertilisant, le lisier de porc utilisé étant favorable à la productivité piscicole comparé à la fiente de poule de ferme et à la plante *Pennisetum purpureum*. Les performances agro économiques relevées pour les poissons cultivés dans ces étangs ont confirmé que le modèle de gestion appliqué à l'étang ET serait indiqué pour une durabilité de la pisciculture en milieu rural. En effet, le protocole de

chaulage, fertilisation, empoissonnement et entretien des étangs piscicoles proposé au terme de cette étude est consigné dans le tableau XXII.

Fort des résultats observés au cours de cette étude, pour améliorer le rendement des étangs de pisciculture, les recommandations suivantes peuvent être faites :

**1- Aux pisciculteurs (paysans), nous les exhortons :**

- ne plus limiter leur activité à la simple méthode traditionnelle, cependant mettre en pratique le scénario d'élevage piscicole proposé dans ce travail et suivre avec beaucoup d'attention le plan d'eau pendant la période de démarrage qui dure environ 3 mois ; ce qui améliorerait à coût sûr les performances agro-économiques de leurs étangs ;

- utiliser de préférence pour la fertilisation de leurs étangs des fientes de poules pondeuses (au lieu des fientes de poulet de chair) pour favoriser l'enrichissement du milieu en matières organiques ;

- assurer la mise en charge en une seule fois si de toutes les espèces de poissons sollicitées, le tilapia est pris en compte, tout en respectant les proportions de taille des alevins utilisés, ce qui rendrait effectif et efficace l'action des prédateurs sur les alevins de deuxième génération des tilapias et donc la disponibilité en quantité suffisante de la nourriture pour les poissons de première génération ;

- construire les étangs en dérivation pour mieux appréhender le contrôle et faire des cycles d'élevage allant de février à décembre car les fortes températures ambiantes le plus souvent enregistrées en février et mars seront en faveur du bon déroulement de la phase de démarrage si toutes les autres conditions sont réunies. Aussi, construire des étangs de plus de 100 m<sup>2</sup> de surface pour réduire les frais de main d'œuvre et d'ammortissement du matériel d'exploitation. Toutefois faire des étangs pas très larges (200 à 400 m<sup>2</sup>) pour s'approprier de toutes les difficultés de fonctionnement du plan d'eau et intervenir à temps ;

- réduire les dépenses en associant toujours à chaque étang un élevage d'animaux domestiques (le plus efficace dans le cadre de ce travail étant l'élevage de porcs) dont l'enclos doit être installé sur une berge de l'étang et les eaux de nettoyage canalisées vers le plan d'eau. Ceci serait moins pénible lorsqu'il faut suspendre momentanément la fertilisation du plan d'eau. Toutefois, les animaux associés doivent être convenablement nourris, les normes zootechniques prévoyant une ration journalière d'au moins 6% du poids vif de l'animal.

## **2- Aux pouvoirs publics,** nous leur recommandons de :

-mener des campagnes de sensibilisation favorisant la création, le suivi et surtout la gestion des étangs de pisciculture, ce qui pourrait mieux orienter les pisciculteurs et motiver les populations à s'intéresser davantage à cette activité. Par la suite, organiser des sessions de formation et de renforcement des capacités des pisciculteurs ;

-encourager les chercheurs qui s'investissent dans le domaine piscicole et les utiliser comme relais et guide auprès des paysans. Valoriser les résultats de recherches à travers les fermes piscicoles publiques pour servir d'exemples aux pisciculteurs ;

-se servir du scénario d'élevage présenté dans ce travail pour recycler les déchets biodégradables des ménages et des établissements scolaires, ce qui pourra développer le goût de la pisciculture chez les tous-petits ;

-mettre un accent sur les capacités zootechniques dans les écoles de formations de manière à intégrer le protocole proposé dans ce travail.

## **3- Aux chercheurs,** nous leur recommandons de:

-réduire le pas d'échantillonnage (échantillonnage hebdomadaire serait le mieux indiqué) lorsqu'il s'agit des étangs piscicoles afin de mieux comprendre l'écologie de ce type particulier d'écosystème ;

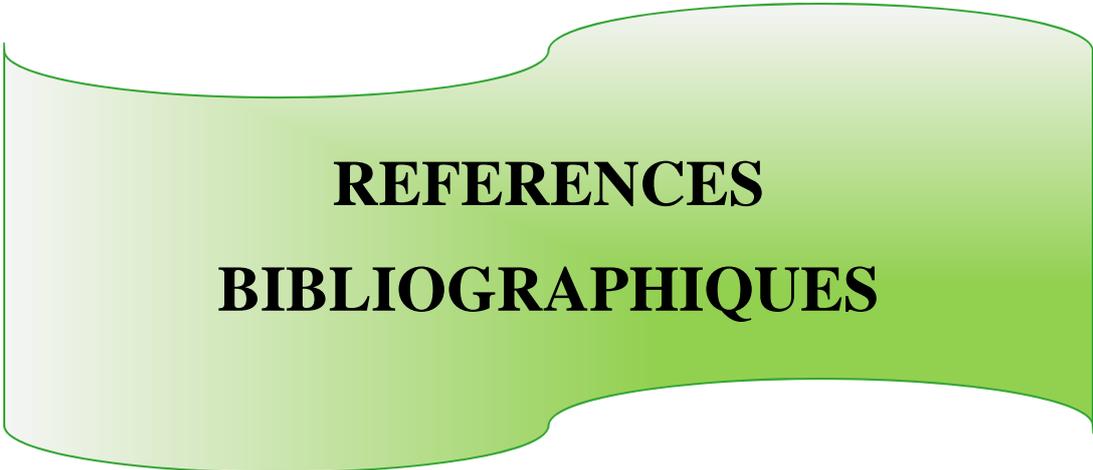
-mettre un accent sur le fonctionnement de ce type de plan d'eau dans les autres régions écologiques afin de contribuer au développement des techniques piscicoles au Cameroun ;

En ce qui concerne les perspectives de recherche, il serait intéressant à la suite de ce travail de déterminer :

-les groupes de phytoplancton qui colonisent avec aisance ces étangs piscicoles pour mieux comprendre ce que consomme préférentiellement le zooplancton de ces pièces d'eau ; le zooplancton étant la source de protéines la plus appréciée par les alevins de la plupart de poissons cultivés dans cette région écologique ;

-mener d'autres études de calibration comme celle-ci dans d'autres fermes de la région écologique de Yaoundé afin de trouver un modèle théorique convenable à la région du Centre-Cameroun ;

- faire une analyse du contenu stomacal des spécimens de poisson de grande taille (150g et plus) pour comprendre d'avantage le régime alimentaire des poissons cultivés.



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abuo-sief R. A., Radwan M. E. I., Mahmoud A. A., 2012. Effect of crop stocking ratios of Nile Tilapia, Common carp, Silver carp and Catfish in polyculture in concrete ponds with 10 cm clayey loam on growth performance and total yield. *Journal of the Arabian Aquaculture Society*. 7 (1):1-18.
- Adewumi A. A., 2015. Growth performance and survival of *clarias gariepinus* hatchlings feed different starter diets. *European Journal of Experimental Biology*. 5 (3): 1-5.
- Adouvi E. C., 2013. Effets de la substitution de la farine de poisson par la farine des graines de Néré (*Parkia biglobosa*) et de la farine du tourteau de soja (*Glycine max*) sur la croissance et la survie des juveniles de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi (Benin) ; 43 p.
- Agadjihouede H., Chikou A., Montchowui E., Laleye P., 2011. Effet de la densité initiale de mise en charge sur la survie et la croissance des larves d'*Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) élevées en bassins fertilisés. *Journal of Applied Biosciences*. 84 (16): 5890-5903.
- Agbohessi P. T., Degila B. D. D., Elegbe H. A., Pelebe R. O. E., Okewole J., Houndji A. M. B. et Imorou Toko I., 2018. Optimisation de la productivité piscicole des étangs par l'association du jeûne et de la co-culture chez *C. gariepinus* et *O. niloticus*. *Journal of Applied Biosciences*. 130: 13138-13147.
- Aka N'guessan M., Etile N'Doua R., Joany T. et N'da Konan, 2018. Peuplement zooplanctonique du plateau continental ivoirien : diversité, abondance et biomasse. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 12 (1): 129-140.
- Akimbuwa O., Adeniyi I. F., 1996. Seasonal variation, distribution and interrelation ship of Rotifers in OPA reservoir, Nigeria. *African Journal of Ecology*; 34:351-363.
- Akum C. Chiambeng G.V., Segers H., Folack J., Eyasi E., 2001. New records of rotifer for the Cameroon fauna from the Korup Park and its environs. *Journal Camerounais de l'Académie des Sciences*; 1(2):77-85.
- Alexandra M., 2018. *La dynamique du zooplankton au lac Saint-Jean*. Thèse de Doctorat en Biologie. Université du Québec à Chicoutimi, 231 p.
- Amoros C., 1984. Crustacés cladocères. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises 5. *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon* ; (3,4) : 1-63.
- Amblard C., 1987. Les successions phytoplanctoniques en milieu lacustre. *Annales de Biologie* 26 : 1-34
- Angeli N., 1980. Interaction entre la qualité des eaux et les éléments de son plancton la pollution des eaux continentales. Incidence sur la biocénose aquatique, Gauthier Villars (éd.), Paris ; 97-146.
- Angelier E., 2000. Ecologie des eaux courantes, Paris, *Techniques & Documents* ; 198 p.

- Anonyme, 1985. Standard methods for the examination of water and waste-water. APHA-AWWA American Public Health Association, WPCF (éds.), Pensylvania, Wahington D.C., 1150 p.
- Anonyme, 1993. Appui à la profession piscicole du Centre-Ouest. Projet du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales, AFVP, Abidjan, Côte d'Ivoire ; 1 :1- 41.
- Anonyme, 2007. L'Aquaculture, seul moyen de combler le "déficit de poisson". L'avenir de la pisciculture au cœur d'une réunion ministérielle. Rome (Italie) ; Note de synthèse ; 1 : 2-19.
- APDRA, 2011. Projet de Structuration d'un Réseau Pérenne de Pisciculteurs dans les régions Centre et Ouest du Cameroun PSRPP.FSD 2008-004205, 54 p.
- APDRA, 2013. Projet de renforcement des compétences des pisciculteurs de la région Centre du Cameroun PRCP. Rapport final. 21 p. www, apdra.org.
- Arndt H., 1993. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) a review. *Hydrobiologia*, 255/256: 231-246.
- Assiah V. E., Schie T. V., Hilbrands A., 1996. La pisciculture en eau douce à petite échelle. Agrodok 15. Wagenigen, Pays-Bas. 80 p.
- Atangana Kenfack J. A., Ducarme C. et Micha J. C. 2019. La pisciculture au Cameroun : Bilan et perspectives, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (2) : 1140-1161.
- Atangana Kenfack J. A., Tchawa P. et Micha J.C., 2019. La pisciculture au Cameroun : Une demande individuelle ! Cas de la commune de Bertoua 1 dans la région Est du Cameroun, *Tropicultura*, 37 (3) : 2295-8010.
- Bachelier G., 1959. Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédologie des sols ferrallitiques. *Agronomie Tropicale* ;14 (1): 279-305
- Banas D., 1997. Incidence des piscicultures extensives du bassin versant de Lindre. Mémoire de DEA en Sciences Agronomiques de l'Université de Metz , Metz (France), 27 p.
- Banas D., 2001. *Flux de matières en étang piscicole extensif : Retention, Sédimentation, Exportation*. Thèse de Doctorat en Sciences de la Vie- Hydrobiologie de l'Université de Metz, Metz (France), 335 p.
- Barbault J., 1990. *Ecologie animale*, Masson, Paris, 45 p.
- Bard J., De Kimpe P., Lemasson J., Lessent P., 1974. Manuel de pisciculture tropicale. Centre technique forestier tropical (Ed), Nogent\_sur\_Marne (France), 209 p.
- Barroin G., 1980. *Eutrophisation, pollution nutritionnelle et restauration des lacs. La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques*, Gauthier Villars (éd.), Paris, (2) :90-98.
- Baroiller J. F., Jalabert B., 1990. Physiologie de la reproduction des Tilapias: bilan des connaissances et perspectives de recherche d'intérêt appliqué. *Cahier des Sciences CTFT* ; 10 : 39-62

- Batterson T. R., Mc Nabb C. D., Knud-Hansen C. F., Eidman H. M., Sumatadinata K., 1989. Indonesia: cycle III of the global experiment. In: Egna H.S.J. (Ed). Ponds Dynamics/aquaculture, Oregon State University (Ed), Corvallis, CRSP data reports; 3:1- 135.
- Bérard A., 1993. *Effets d'une fertilisation riche en matières organiques azotées sur les relations trophique (bactéries, phytoplancton, zooplancton) dans un étang de pisciculture*. Thèse Doct., Muséum National d'Histoire Naturelle Paris, France : 215 p.
- Bernadi De R., Guissani G., Manca M., 1987. Cladocera : Predators and prey. *Hydrobiologia*; 184: 23-28.
- Besnard A., Salles J. M., 2010. Suivi scientifique d'espèces animales. Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis. Note méthodologique à l'usage des gestionnaires de sites Natura 2000, Rapport DREAL PACA, Pôle Natura 2000 ; 120 p.
- Beveridge M. C. M., Begum M., Frerichs G. N., Millar S., 1989. The ingestion of bacteria in suspension by the tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 81 : 373-378.
- Bidermann P., Yon B., 2005. Etude environnementale du barrage de Lom Pangar (Cameroun). Qualité des eaux. République du Cameroun, Rapport final du Ministère de l'eau et de l'énergie ; 1(15) :1-110.
- Billard R., Marie D., 1980. *La qualité des eaux de l'étang de pisciculture et son contrôle*. In : Billard R. (Ed.), *La pisciculture en étang*, INRA Publications, Paris (France) ; 107-127.
- Blackburn T. H., 1987. Role and impact of anaerobic microbial processes in aquatic systems. In: Moriarty D.J.W. et Pullin R.S.V. (eds), *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. INCLARM Conference Program; Manila, Philippines. 14:32-53.
- Blé M. C., Alla Y. L. et Kervarec F., 2008. Régimes alimentaires de trois principales espèces piscicoles élevées en Côte d'Ivoire, *Fiche Technique & Documents de Vulgarisation*. 2 :10-14
- Blondel J., 1979. *Biogéographie et Ecologie*. Masson éd., Paris, 345 p.
- Bogne Sadeu C., Mikolasek O., Barlet B., Chia E., Pouomogne V., Tomedi Eyango M., 2008. Change in the practices and representations of small-scale fish farming activity : a partnership research process in West Cameroon. Proceedings of the 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Cairo (Egypt); 633-644.
- Bowen S. H., 1982. *Feeding digestion and growth qualitative considerations*. In : Pullin R.S.V. et Lowe Mc Connelle R.H. (eds). *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, Manila, Philippines; 141-156.
- Boyd C. E., 1986. *Water quality and fertilization*. In: Billard R et Marcel J. Ed. *Aquaculture of cyprinids*; INRA, Paris. 283-294.
- Boyd C.E., 1990. *Water quality in ponds for aquaculture, Alabama agricultural experiment station Auburn University*. (Ed.), Auburn AI (USA), 482 p.

- Boyd C. E., Musig Y., 1981. Orthophosphate uptake by phytoplankton and sediment. *Aquaculture*, 22: 165-173.
- Bozena S. et Weigel J. Y., 1998. Mythes et réalités des aquacultures Africaines. *Afrique Contemporaine*, 187 : 60-76.
- Breine J. J., Nguenga D., Teugels G. G. et Ollevier F., 1996. A comparative study on the effect of stocking density and feeding regime on the growth rate of *Tilapia camerounensis* and *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in fishculture in Cameroon. *Aquatic. Living Resources* ; 9(1) : 51-56.
- Brummett R. E. Noble R. P., 1995. Partenariat de recherches paysan-chercheur et aquaculture intégrée chez les petits exploitants du Malawi In: L'aménagement des écosystèmes agropiscicoles d'eau douce en milieu tropical. Bruxelles ; 479-502.
- Brummett R. E., Angoni E. D., Pouomogne V., 2004a. On-farm and on-station comparison of wild and domesticated cameroonian populations of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 242: 157-164.
- Brummett R. E., Lazard J., Moehl J., 2008. African aquaculture: Realizing the potential. *Food policy*, 33: 371-385.
- Brummett R. E, Gockowski J., Bakwowi J., Etaba A. D., 2004b. Analysis of aquacultures investments in periurban Yaoundé, Cameroon. *Aquaculture Economics and Management*, 8(5/6 ): 1-10
- Brummett R.E., Youaleu J. L. N, Tiani A. M., Kenmegne M. M., 2010. Women's traditional fishery and alternative aquatic resource livelihood strategies in the Southern Cameroonian Rainforest. *Fisheries Management and Ecology*, 17: 221-230
- Brummet R. E., Gockowski J., Pouomogne V., Abo'o Medjo J. M., Soua N., Teteo F., 2005. Development of integrated aquaculture agriculture systems for small-scal farmer in the forest margins of Cameroon. Final Technical Report, World Fish Center (ed), Yaounde (Cameroon) 34 p.
- BUCREP (Bureau Central des Recensements et des Etudes de Population), 2010. Troisième recensement général de la population et de l'habitat, Rapport de présentation des résultats définitifs, Yaoundé (Cameroun), 65 p.
- Carlet Y., 1985. *Lutte contre l'Eutrophisation des lacs. Exemple d'une réussite : Le lac d'Annecy*. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université Scientifique et Médicale de Grenoble ; 126 p.
- Chiambeng G. J., Njock J. C., Segers H., 1994. Rotifera from South West, Central and North provinces of Cameroon. *Biological Journal of Dodonaea*, 61: 154-160.
- Chikafunbwa F. J. K. T., 1990. *Studies on napier grass (Penisetum purpureum, Schumach) as pond input for the culture of Tilapia rendalli (Boulenger) and Oreochromis shiranus ssp. (Boulenger)*- University of Malawi master in science's Thesis 177 p.
- Chikafunbwa F. J. K. T., Costa-Pierce B.A., Kadongolaa W., Janu D.M., Balarin M., 1993. Experimental investigation on the use of on-farm resources as pond inputs for small holder aquaculture in rural Africa. *Aquaculture*; 117: 201-271.

- Coche A. G., Laughlin T., Muir J. F., 1997. Méthodes simples pour l'aquaculture, pisciculture continentale : la gestion des étangs et leur eau. Collection FAO Pêche, FAO (ed), Rome (Italie), 245 p.
- Copin Y., Oswald M., 1993. Orientation des techniques d'élevage de la pisciculture artisanale dans le centre-Ouest de la côte d'ivoire. In : Banarbé G., Kestemont P. (Eds), Production, environment and quality. Bordeaux aquaculture 92. *EAS Spel. Publ., Ghent (Belgium)* 18 : 407-419.
- Coulibaly N. D., 2008. Relation longueur-poids chez quatre espèces de poissons de la rivière Sourou au Burkina Faso. *International Journal of Biochemistry Sciences* ; 2 (3) : 331-338.
- Côté R., Bussièrès D., Desgagnés P., 2019. Spatio-temporal distribution of phytoplankton and zooplankton in Lake Saint-Jean (Quebec), Hydro-electric reservoir. *Revue des Sciences de l'eau* ; 15 (3) : 597-614.
- Dabbadié L., 1996. *Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrant dans le Centre-Ouest de la Côte d'ivoire : Approche du réseau trophique*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6, 207 p.
- Dabbadie L., 2008. L'optimisation de la densité d'empoissonnement d'un étang de pisciculture, Pratique de l'aquaculture. *Aquatrop Fr*; 68 p.
- Dabbadie L., Lazard J., Oswald M., 2002. Pisciculture et élevages non conventionnels : Pisciculture, Mémento de l'Agronome. CIRAD-GRET (Ed), Ministère des Affaires étrangères (France) ; 2 : 1571-1651
- Daumer M. L., Béline F., Guiziou F. et Sperandio M., 2007. Influence of pH and biological metabolism on dissolved phosphorus during biological treatment of piggery wastewater. *Biosystems Engineering*, 96 (3): 379-386
- Dakwen J. P., Zébazé Togouet S. H., Tuekam Kayo R. P., Djeufa Heuchim C., Nziéleu Tchagnouo J. G., Foto Menbohan S., Njiné T., 2015. Physico-chemistry characterization and zooplankton specific diversity of two fishponds in Yaoundé (Cameroon, Central Africa). *Journal of biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 6 (2): 16-30
- De Graaf G., Janssen H., 1996. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *clarias gariepinus* in sub-saharian Africa. A handbook, FAO fisheries technical 73p.
- Délincé G., 1992. *The ecology of the fish pond ecosystem with special reference to Africa*. Kluwer Academic (Publ.), Dordrecht, Netherlands; 230 p.
- De Ridder M., 1981. Rotifères. Exploration hydrobiologique du bassin du Lac Bangwéolo et du Luapula, Symoens ed., *Limnology and Marine and Biology in Sudan* ; 1-166.
- Devaux J., 1977. *Dynamique des populations phytoplanctoniques dans 2 lacs du massif Central français*, Thèse de Doctorat, Université Clermont-Ferrand II, 185 p.
- Diana J. S., Lin C. K., Bhukaswan T., Sirsuwanatach V., Buurma B. J., 1991. Thaïland: cycle III of the global experiment. In : Egna H. S., Bowman, J. (Eds), Ponds Dynamics Collaborative Research, Data Reports, Oregon State University Corvallis, 86 p.

- Dobberfuhr D. R., Miller R., Elser J. J., 1997. Effect of a cyclopoïd copepod (*Diacyclops thomasi*) on phytoplankton and the microbial food web. *Aquatic Microbiology and Ecology*; 12: 29-37
- Dumont H. J., 1994. On the diversity of the cladocera in the tropics. In : Dumont H. J., Green J. et Masundre H. eds., Studies on the ecology of tropical zooplankton, K.A.P., *Hydrobiologia*; 272 :27-28.
- Dumont H. J., Van De Velde I., Dumont S., 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 19: 75 – 97.
- Dussart B. H., 1980. *Copepode*. In : ORSTOM, Durant et Levêque (ed.), Flore et faune aquatique de l’Afrique Sahelo-Soudanienne, Paris ; 333-356.
- Dussart B. H., 1992. *Limnologie, l’étude des eaux continentales* (2<sup>ème</sup> éd.), Boubée & Cie, Paris.
- Dussart B. H. et Gras R., 1966. Faune planctonique du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, Série. Océanographique* ; 4(3): 77-91.
- Dussart B.H., Defaye D., 1995. *Copepoda: Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the microinvertebrates of the continental waters of the world 7*, Dumont H. J. (ed.), S.P.B., Acad. Publ., The Hague, 276 p.
- Edwards P., 1993. Environmental issues in integrated agriculture-aquaculture and wastewater-fed fish culture systems. In: Pullin R. S. V., Rosenthal H., Maclean J. L., (Eds), Environment and aquaculture in developing countries. Manila, Philippines ICLARM Conference Proceedings;139-170.
- Edwards P., Pacharaprakiti Ch., Yomjinda M., 1994. An assessment of the role of buffalo manure for pond culture of Tilapia. In: On-station experiment. *Aquaculture*, 126(1/2): 83-95.
- Efolé Ewoukem T., 2011. *Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun*. Thèse de Doctorat.UMRs INRA-Agrocampus Ouest « Sol Agro et Hydrosystème et Spatialisation » et « Ecologie et Santé des Ecosystèmes » à Rennes (France)/ Ichtyologie et Hydrobiologie appliquée à la FASA de l’Université de Dschang (Cameroun). 164 p. + Annexes.
- Efolé Ewoukem T., Aubin J., Tomedi Eyango M., Mikolasek O., Corson M. S., Tchoumboué J., Van der Werf H.M.G., Ombredane D., 2010. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Proceeding of LCAfood 2010*, (1): 375-380.
- Efolé Ewoukem T., Mikolasek O., Mélécony Blé C., Songmo B. L., Ndzana B. E. B., Nyamsi Tchatcho N. L., Tchoumboungang F., Tomedi Eyango M., 2015. Comment améliorer la production des systèmes piscicoles extensifs par un empoissonnement successif. *Fiche Techniques & Documents de Vulgarisation* : 24-28 (volume spécial).
- Efolé Ewoukem T., Tchouante T. C. G., Miegoue E., Tsoupou K. S. G., Tedonkeng F., Pouomegne V., Mikolasek O., Nana T. A., Tchoumboué J., 2016. Effet of Level of

- Desmodium uncinatum incorporation in the Diet on Growth Performance of *Clarias jaensis* (Boulanger, 1909) in the Highlands of west Cameroon. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 9 (12): 74-82.
- Egna H. S. et Boyd C. E., 1997. *Dynamics of Pond Aquaculture*. (Ed) Boca Raton New York, Etats-Unis: *CRC Press*, 437 Université de Grenoble I. 155 p.
- Ekodeck G. E., 1984. *L'altération des roches métamorphiques du Sud Cameroun et ses aspects géotechniques*, Thèse de Doctorat d'Etat des Science Naturelle. Université de Grenoble I. 155 p.
- El-Sayed A. F. M., 2006. *Tilapia culture*, CABI (Eds), Wallingford, Oxfordshire (UK), 277 p.
- Elegbe H. A., Toko I. I., Agbohessi P., Ble C., Banag A., Chikou A., Tomed E. M. T., Laleye P., 2015. Co-culture *Clarias gariepinus*-*Oreochromis niloticus* : quels avantages pour l'amélioration des performances zootechniques et économiques des poissons élevés dans les « whedos » du delta de l'Ouémé au Bénin ? *International Journal of Biochemistry and Science*; 9 (4): 1937-1949.
- Eno Belinga S. M., Kabeyene B., 1982. Géologie dynamique du paysage du fer de la ville de Yaoundé secteur Nord. *Annales de la Faculté de Sciences* ; 4(1) : 51-66.
- FAO, 1999. Directives pour la collecte régulière de données sur les pêches de capture. Document technique sur les pêches. FAO/DANIDA Bangkok, Thaïlande, 123 p.
- FAO, 2004. Vue générale du secteur aquacole national. [http://www.fao.org/fishery\(countrysector\)naso-cameroon/fr](http://www.fao.org/fishery(countrysector)naso-cameroon/fr).
- FAO, 2006. State of world aquaculture. FAO Fisheries technical paper. N°500. Rome. 128 p + Annexes.
- FAO, 2007. L'Aquaculture, seul moyen de combler le “déficit de poisson”. L'avenir de la pisciculture au cœur d'une réunion ministérielle. FAO. Note de synthèse réunion ; 14 p.
- FAO, 2008. Aperçu général du secteur national d'aquaculture. Département de Pêches et Aquaculture ; Rapport annuel ; 144 p.
- FAO, 2016. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture : contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous. Rome; 224 p.
- FAO, 2016. Situation mondiale des pêches: Possibilités et Défis. FAO, 275 p.
- FAO (Food and Agricultural Organisation), 2018. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Atteindre les objectifs du développement durable. Rapport annuel, 28 p.
- FAREC (Fédération Aquacole de la Région Centre), 2019. La filière pisciculture d'étang de la région Centre Val de Loire au Salon de l'Agriculture, 2019 ; La pisciculture : passions et tradition d'avenir, 4 p.
- Fernando C. H., 1994. Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwater. *Hydrobiologia* 272: 105-123.

- Fernando C. H., 2002. *Introduction in a guide to tropical freshwater zooplankton. Identification ecology and impact on fisheries*. Ed. Fernando C. H., Leiden (Netherlands); 26 p.
- Froese A., Pauly S., 2010. Fishbase Association report; 12 p.
- Frei M., Khan M. A. M., Razzak M. A., Hossain M. M., Dewan S., Becker K., 2007. Effect of mixed culture of common carp *Cyprinus carpio* L., and Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) on terrestrial arthropod population, benthic fauna and weed biomass in rice fish in Bangladesh. *Biological Control* ; 41: 207-213.
- Friot D., 2002. Quelques aliments et matières premières utilisés en alimentation des animaux dans les zones tropicales. In : Mémento de l'agronome CIRAD-GRET ( CD-ROM ), MAE, Paris (France), 36 p.
- Frontier S., 1972. Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplankton. *Journal of Expérimentation and Marine biological Ecology* ; 8 : 121-132.
- Frontier S., 1973. Etude statistique de la dispersion du zooplankton. *Journal of Expérimentation and Marine biological Ecology* ; 12: 229-262.
- Gamel H. A. A., Abdel-Alim A. M. M., Abdel-Razek E., Solomon A., 1998. Biological studies on the Nile Perch, *Lates niloticus* (L) and African catfish, *Clarias gariepinus* (T.) in reference to their food habits and predation pattern in culture ponds. *Egypt. Journal of Agricultural Ressources* ; 76: 335-349.
- Giani N., Laville H., 1995. Réseau trophique benthique. In : Pourriot R. et Meybeck M., Limnologie générale. Collecion Ecology. 25, Masson (Publ.), Paris, France; 565-587.
- Glasser F. et Oswald M., 2001. High stocking densities reduce *Oreochromis niloticus* yield: model building to aid the optimisation of production. *Aquatic Living Resources*; 14 : 319-326.
- Glime J. M., 2017. Arthropods: Crustacia-Copepoda and cladocera. Glime, J.M. Bryophyte Ecology. Bryological Interaction. Ebook sponsored by Michigan Technological University. *International Association of Bryologists*. 10(2):1-76.
- Golterman H. L., 1984. Sédiments, modifying and equilibrating factors in the chemistry of freshwater. *Limnology*, 22 : 23-59
- Grall J., Hily K., 2003. Traitement des données stationnelles (faune). *Ifremer Rebut*; 16 p.
- Green B. W., Alvarenga H. R., Phelps R. P., Espinoza J., 1990. Honduras: Cycle II of The Global Experiment. Collaborative Research Data Reports, Vol 6, N°2. PD/A CRSP, Corvallis, Oregon (USA), 94 p.
- Guiral D., Arfi R., Bouvy M., Pagano M., Saint-Jean L., 1994. Ecological organization and succession during natural recolonization of a tropical pond. *Hydrobiologia*, 294: 229-242.
- Hansson L. H., 1988. Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and periphyton algae in lakes. *Limnology and Oceanography*; 33 :121-128.
- Hecht T., Uys W., Britz P., 1988. The culture of sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in southern Africa. *South African Natural Science Progress Report* ; 153-133.

- Hepher B. Pruginin Y., 1990. Fertilization and manuring. In: John Wiley & Sons (Eds). Commercial fish farming. A Wiley-interscience publ., New York (U.S.A.), 162-191.
- Hirigoyen J. P., Manjeli, Y., Mouncharou G. C., 1997. Caractérisation de la pisciculture dans la zone forestière du centre Cameroun. *Tropicultura*. 15 (4): 180-185.
- Hogendoorn H., Jansen J. A. J., Koops W. J., Machiels M. A. M., Van Ewijk P. H., Van Hossain M. A. R., Beveridge M. C. M., Haylor G. S. H., 1998. The effects of density, light, and shelter on the growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) fingerlings. *Aquaculture*, 160: 251-258.
- Hutchinson G. E., 1967. A treatise on limnology. In: Wiley & Sons Eds., Introduction to lake biology and the limnoplankton, New York, Sydney 12(2):1-121.
- Iltis A. et Riou-Duwat S., 1971. Variations saisonnières du peuplement en rotifères des eaux natronées du Kanem (Tchad). Cah. O.R.S.T.O.M., *Hydrobiologia* ; 2: 101-112.
- Jamu D. M. et Msiska O.V., 1996. Chaulage des étangs de pisciculture au Malawi ; Etude comparative des étangs chaulés et non chaulés. In : Pulli, R.S.V., Lazard J., Legendre M., Amon Kothias J.B., Pauly D. (eds). Le troisième symposium International sur le tilapia en Aquaculture. *ICLARM Cof. Porc*, 41: 56-63.
- Jamu D. M., Piedrahita R. H., 1996. Aquaculture pond modeling for analysis of integrated Aquaculture/Agriculture systems: Fishpond Organic Matter and Nitrogen dynamics. In : Egna H., Goetze B., Burke D., McNamara M., Clair D. (eds). Fourteenth annual Technical Report , Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Office of International University, Corvallis, Oregon (USA); 2:172-177.
- Jana B.B. et Das S.K., 1992. Bioturbation induce changes of fertilizer value of phosphate rock in relation to phosphatase alkaline activity. *Aquaculture* 103:321-330.
- Juergen V., 2014. Développer l'aquaculture pour satisfaire l'essor de la demande. Direction de l'agriculture et des services environnementaux à la banque mondiale. <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/2013/12/18882045/>
- Kangmin L. et Peizhen L. 1995. Intégration de l'agropisciculture de chine. In : Symoes, J-J. & Micha, J-C. (eds). L'aménagement des écosystèmes agropiscicoles d'eau douce en milieu tropical, Bruxelles ; 119 p.
- Karplus I., Milstein A., Cohen A. et Harpaz S., 1996. The effect of stocking different ratios of common carp, *Cyprinus carpio* L., and Tilapias in polyculture ponds on production characteristics and profitability. *Aquaculture Research*, 27: 447-453.
- Kimou N. B., Koumi R. A., Koffi M. K., Atsé C. B., Ouattara I. N. et Kouamé P. L., 2016. Utilisation des sous-produits agroalimentaires dans l'alimentation des poissons d'élevage en Côte d'Ivoire, *Cahier d'agriculture*, 25 : 1-9
- Koffi C., Oswald M. et Lazard J., 1996. Développement rural de la pisciculture des tilapias en Afrique: comment passer du mythe à la réalité, Afric Press Report ; 72 p.
- Koste W., 1978. Rotaria Die radertiere mitteleuropos. I. II, Bortraeger (ed.), plates, Berlin ; 2: 273-673.

- Koste W. et Shiel R. J., 1991. Rotifera from Australian inland waters.VII. Notomatidae (Rotifera: Monogononta). *Trans. R. Soc. Austr.*, 115:11-159.
- Konan S. K., Ouattara I. N., Yao L. A. et Gourene Adepo B., 2017. Hybridations des taxons *Oreochromis niloticus* (Linnée, 1758) aux taxons *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862) et *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1862) dans les étangs de la station aquacole de Layo (Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological and chemical Sciences*, 11 (6): 2901-2913.
- Koumi A. R., Kimou B. N., Ouattara I. N., Koffi K. M., Atse B. C. et Kouame L. P., 2016. Les aliments utilisés en pisciculture semi-intensive en Côte-d'Ivoire et leur productivité, *Tropicultura* 34 (3) : 286-299.
- Kraft C. E., 1992. Estimates of phosphorus cycling by fish using a bioenergetics approach. *Canadian Journal of fishing and Aquatic Sciences*; 49 :1-9.
- Kriesemer S. K., 2009. Adoption and Diffusion of Small-Scale Pond Aquaculture: The Case of Cameroon in Comparison to Malawi. Margraf Publishers GmbH, Scientific books, 2009 Kanalstraße 21 D-97990 Weikersheim, 167 p.
- Kumar K. et Ayyappan S., 1998. Current practices in integrated aquaculture from India. Integrated Aquaculture Research Planning Workshop, Purulia India March 1998. working paper; 5:1-25.
- Labroue L., Capblancq J., Dauta A., 1995. Cycle des nutriments : l'Azote et le Phosphore. In : Pourriot R., Meybeck M., Limnologie Générale. Masson (Ed), Paris (France) ;727-764.
- Lacroix E., 2004. Pisciculture en zone tropicale, GFA *Terra Systems Eulenkrugstrabe Hamburg* (Allemagne) ; 82 (22) : 225-359
- Lafaille P. et Crivelli A. J., 2011. La carpe commune (*Cyprinus carpio Linneaus*, 1758), in Keith P., Persat H., Feunteun E., Allardi J. (coords), Les poissons d'eau douce en France, Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelles, Paris (collection Inventaires et biodiversité) ; 308- 311.
- Lam S.S., Josoh. A. et Law A.T., 2007. Waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata bleeker*) fed with different diets. *In science Direct, aquaculture* 274 (2008): 49-56
- Lanoiselée B. 1984. Fertilisation organique en aquaculture. Utilisation de lisier de porc pour l'alevinage de poissons d'étang. Thèse doct., INA – PG, Paris, France, 252 p.
- Lauzanne L., 1998. Feeding habits of African fresh water fishes. In : Levêque C., Brunon M.N. et Ssentongo G.W. (eds), Biologie et écologie des poissons d'eau douce africain. Loll. Travaux et documents n° 21G, ORSTOM (Publ), Paris, France ; 221-242.
- Lazard J., 2009. La pisciculture des Tilapias. *Cahier d'Agriculture*, 18(2/3) : 174-182.
- Lazard J., 2017. Les systèmes aquacoles face au changement climatique. *Cahier d'Agriculture* 26 (1): 10-36.

- Lazard J., Oswald M., 1995. Association silure africain-tilapia : polyculture ou contrôle de la reproduction ? *Aquatic Living Resources* 8 : 455-463.
- Lazard J., Baruthio A., Mathé S., Rey-Valette H., Chia E., Aubin J., Clément O., Morissens P., Mikolasek O., Legendre M., Levang P., Blancheton J. P., René F., 2009. Adaptation des typologies d'exploitations aquacoles aux exigences du développement durable. *Cahier d'Agriculture* ; 18 (2/3) : 199-210.
- Lazard J., Baruthio A., Mathé S., Rey-Valette H., Chia E., Aubin J., Clément O., Morissens P., Mikolasek O., Legendre M., Levang P., Blancheton J.P., René F., 2010. Aquaculture system diversity and sustainable development: fish farms and their representation. *Aquatic Living Ressources*, 23 (2) : 187-198.
- Lazard J., 2012. La pisciculture en Afrique Noire : une Histoire ou que des histoires ?. In : Colloque "René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines", 15 et 16 novembre 2012 : résumés des communications. Diouf Abdou (ed.). Fondation René Dumont. Paris : GRET, Résumé, 23-24. Colloque "René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines", Nogent-sur-Marne, France, 15 Novembre 2012/16 Novembre 2012.
- Lazzaro X., 1987. A review of planktivorous fishes : their evolution, feeding behaviours, selectivities and impacts. *Hydrobiologia*, 146 : 97-167.
- Lebrun P., 1973. La dynamique de population : But et approches expérimentales. *Annales Scientifique Royal Zoologie, Belgique*; 103:7-20.
- Legendre L. & Watt W. D., 1972. On a rapid technic for plankton enumeration. *Annales des Instructions Oceanographiques* ; 58 : 173-177.
- Legendre M., Pagano M., Saint Jean L., 1987. Peuplements et biomasse zoo planctoniques dans des étangs de pisciculture lagunaire (Layo, Côte d'ivoire). Etude de la recolonisation après la mise en eau. *Aquaculture* 67 : 321 – 341.
- Lemasson J., 1953. La pisciculture dans l'Ouest Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques* ; 1 :30- 38.
- Lemasson L., Pages J., Dufour P. et Corfour J., 1981. Matière organique particulaire et biomasse dans une lagune tropicale. *Hydrobiologie Tropicale*, 14 (3): 191-212.
- Lévêque C., Paugy D. et Teugels G. G., 1990. Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest, 1 e éd ORSTOM-MARC, *Faune Tropicale*, 28 (1) : 374-384.
- Leynaud G. et Verrel J. L., 1980. Modifications du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In: Gauthier Villars éd., pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques, Paris, Besson ; 1115 p.
- Longheed V.L., chow-Fraser P., 1998. Factors that regulate the zooplankton communities structure of a turbid, hypereutrophic great lakes wet land, *Canadian Journal of fishing and Aquatic Sciences* 55: 150-161.
- McNabb C. D., Batterson T. R., Premo B. J., Knud –Hansen C. F., Eidmen H. M., Lin C. K., Jaiyen K., Hanson J. F., Chuenpagdee R., 1990. Managing fertilizers for fish yield in

- tropical ponds in Asia. In: Hirano R., Hanyu I.,(eds), The proceedings of second Asian fisheries forum. The Asian fisheries society, Manila, 169 p.
- Mélécony B. C., Vanga Adja F., Assi Kaudhjis P. J., Alla Yao L., Efolé Ewoukem T., Kouassi Adjoua F., Coulibaly Kanidana S., Mikolasek O., 2015. Environnement socio-économique des exploitants piscicoles du Centre-Ouest et du Sud-Ouest de la Côte D'Ivoire. *F. Techniques & Documents de. Vulgarisation* ; 5 :12-17.
- Meschkat, 1969. The status of warm-water fish culture in Africa. *FAO Fish. Report.*, 44 (2): 88-122.
- Mikolasek O. et Lazard J., 1999. La pisciculture continentale en milieu tropical. In : actes de colloque : Réalités et perspectives de développement de l'aquaculture dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien – Iles de la Réunion Saint Leu les 31 mai au 3 juin 1999, ARDA – Aquaculture ;32- 41.
- Mikolasek O., Guérin G., Lopez A., Khuyen T.D., Huy P.T., Dien N.T., 2006. Local fish farming practices and a typology of farms based on organic matter intake management. In: Orphyre V., Coi N. Q. (Eds.), *Pig Production Development, Animal WasteManagement and Environment Protection: A Case Study in Thai Binh Province, Northern Vietnam*. PRISE Publications, France. 12 :107–125.
- Mikolasek O., Barlet, B., Chia, E., Pouomogne, V., Tomedi Eyango Tabi, M., 2009a Développement de la petite pisciculture marchande au Cameroun : la recherche-action en partenariat. *Cahier d'Agriculture* ; 18 (2/3), 270-276.
- Mikolasek O., Dinh Khuyen T., Medoc J. M., Porphyre V., 2009b. L'intensification écologique d'un modèle de pisciculture intégrée : recycler les effluents d'élevage porcins de la province de Thaï Binh (Nord Vietnam). *Cahier d'Agriculture* ;18 (2/3), 235-241.
- Milstein A., 1995. La fertilisation organique et la production piscicole. In : Symoens J-J. et Micha J.C, *L'aménagement des écosystèmes agropiscicoles d'eau douce en milieu tropical*. Bruxelles; Rapport final; 47 p.
- Milstein A., 2005. Polyculture in aquaculture Review Article. *Animal Breeding Abstracts*, CABI (Ed), Wallingford, Oxfordshire (UK), 73(12):15-41.
- MINEPIA, 2005. Cadre Stratégique pour un développement durable de l'aquaculture au Cameroun. Ministère de l'Elevage des Pêches et des Industries Animales, Yaoundé (Cameroun), 30 p.
- MINEPIA, 2009a. Plan de développement durable de l'aquaculture au Cameroun. Ministère de l'Elevage des Pêches et des Industries Animales, Yaoundé (Cameroun), 55 p.
- MINEPIA, 2009b. Revue sectorielle du secteur aquaculture. Mise en place d'un plan de développement durable de l'aquaculture au Cameroun, 44 p.
- MINEPIA, 2016. Annuaire statistique du sous-secteur élevage, pêche et industrie animales en 2015, Division des études, de la planification de la coopération et des statistiques, 61p.
- MINEPIA, 2019. Annuaire statistique du sous-secteur élevage, pêche et industrie animales en 2018, Division des études, de la planification de la coopération et des statistiques, 70p.

- MINEPIA, 2012. Statistiques de la production halieutique, rapport d'activités de la direction des pêches (3) : 6-8.
- MINEPAT, 2013. Diagnostique sur la situation de référence du Cameroun. Volume 1, 246 p.
- MINEPAT, 2016. Elaboration du schéma national d'aménagement et de développement durable du territoire du Cameroun (SNADDT). Rapport de diagnostic.Secteurs économiques et dynamiques spatiales, 481 p.
- Moreau J., Costa-Pierre B. 1997. Mini review: Introduction and present status of exotic carp in Africa. *Aquaculture Research*, 28 : 717-732.
- Morin R. 2012. Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés. Document d'information DADD-14. Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 25 p.
- Morissen P., Oswald M., Sanchez F. Hem S., 1996. Designing new fish farming models adapted to rural Côte d'Ivoire. In: Pullin R. S. V., Lazard J., Legendre M., Amon Kothias J.B., Pauly D., (eds). The third international symposium on Tilapia in Aquaculture. *ICLARM conf. Proc.* 41: 118-128.
- Mukankomeje R., Laviolette F., Descy J. P., 1994. Régime alimentaire du Tilapia *Oreochromis niloticus* du lac Muhazi (Rwanda). *Annales de Limnologie*, 30 (4) : 297-312.
- Mutume, M.D., Omondi R. et Owili M., 2003. Systematics and distribution of zooplankton in lake victoria basin, Kenya. In: Kenya Marine and fisheries research Institute, Kisumu, Kenya: 230-235.
- Naylor R. L., Goldburg R. J., Primavera J. H., Nils Kaustky M., Beveridge C. M., Clay J., Olkes C., Lubchenco J., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405: 1017-1024.
- N'dri K. M., Yao K. et Ibo G. J., 2016. La pisciculture continentale dans la région du Gontougo (Côte d'Ivoire) : caractérisation et aspects socio-économiques. *TROPICULTURA*, 34 (3) : 300-312.
- NEPAD, 2005. Déclaration d'Abuja sur la pêche et l'aquaculture durable en Afrique, sommet du NEPAD "du poisson pour tous". Abuja, Nigéria, Rapport ; 3 p.
- Nguenga D., Breine J.J., Sulem Yong S., Teugels G.G., Olliver F. 1997. Effect of animal manure and chemical fertilizer on the growth and survival of *Tilapia camerounensis* Holly in Cameroon. *Aquaculture Research*, 28: 231-234
- Nna A.P., Kouam J., Pouomogne V., Moehl .J., Halwart M., Brummett R.E. 2003. A strategic framework for aquaculture development in Cameroon. African Regional Workshop on Small-scale Aquaculture, Limbe, Cameroon; 23-26.
- Noble R.P. 1994. Utilisation of on-farm resources for aquaculture in rural Africas. In: The third International Symposium on Tilapia in aquaculture, Pullin R.S.V., Lazard, J., Legendre M et Amon Kothias J.B. (eds). *ICLARM Conf. Proc*; 41 p.

- Nogrady T., Wallace R. L., Snell T. W. 1993. Rotifera; Biology, Ecology and Systematics. Guide to the identification of the micro invertebrates of the continental water of the world 4. Dumont H. J. éd., S. P. B., *Academia Publications: the hague* 1 :1-142.
- Nola M., Njiné T., Monkiedje Tailliez R. 1999. Approche colimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de la ville de Ydé (Cameroun). *Microbiology Hygyne and Alimentation*; 31: 9-13.
- Northcote T. G., 1988. Fish in the structure and function of freshwater ecosystems: a « *Top down* » view. *Canadian Journal of fishing and Aquatic Sciences*, 45 :361-379.
- Nziéleu Tchapgnoou J. G., 2006. Etude du déterminisme du polymorphisme des Rotifères Brachionidae dans trois plans d'eau de Yaoundé : Lac Municipal, étang de Mélen et étang d'Efoulan, Mémoire de D.E.A., Université de Yaoundé I, Cameroun. 82 p.
- Nziéleu Tchapgnoou J. G., 2016. Faune zooplanctonique du complexe lacustre Ossa, Dizangué : Biodiversité et structure des populations de Rotifères, Cladocères et Copépodes. Thèse Doctorat Ph. D en Biologie des organismes animaux, Université de Yaoundé I, Cameroun, 190 p.
- Nziéleu Tchapgnoou J. G., Njine T., Zébazé Togouet S. H., Djutso Segnou S. C., Mahamat Tahir T. S., Tchakonté S., Tchakonté S., Pinel- Albul B. 2012. Diversité spécifique et abondance des communautés de Copépodes, Cladocères et Rotifères des lacs du complexe OSSA (Disangué, Cameroun) *Physio-Géo-Géographie Physique et Environnement* ; 4: 71-93.
- Olele N. F., Tighiri O. H. 2012. Impact of Stoking Density on the Polyculture of *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus*. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2: 1018-1023.
- Onguene Mala. 1993. *Différenciation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun) : Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune en relation avec l'évolution du modèle*. Thèse de Doctorat d'état, Université de Paris VI, 254 p.
- Olivry J. C., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. Colloques Monographies hydrologiques, ORSTOM N°9. Ed. MES RES-ORSTOM, Paris, 733 p.
- Oswald M. 2013. La pisciculture extensive, une diversification complémentaire des économies des plantations Rapport sur la diversification piscicole ; 21 p.
- Oswald M. et Copin Y., 1992. Le volet piscicole du projet péri urbain de la commune de Daloa. In : Bernacsek G.M. et Powles H. Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Actes de colloques, Bouaké, côte d'ivoire, 14-17 nov. 1988. CRDI (Publ.), Ottawa ? Canada ; 382-397.
- Oyelese O. A., Olutimehin I. O. and Akomolafé M. O. 2014. Growth, Nutrient Utilisation and Physico-Chemical Responses in the monoculture of juvenile *Clarias Gariepinus* to Increasing Stodking Density. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2 (7): 59-66.
- Pauly D., Christensen V., Guénette S., Pitcher T. J., Sumaila R. U., Walters C. J., Watson R., Zeller D. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418: 689-695.

- Pelletier J. L., 1969. Données générales sur la répartition des principaux types de sols de la région de Yaoundé. Document ORSTOM, Série Sol. 20 p.
- Pinel-Alloul B., 1995. Les invertébrés prédateurs du zooplancton. In : Pourriot R et Meybeck M., Limnologie générale, *Collection Ecology* ;Masson (Publ.), Paris; 25 :541-564.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2018. Nutrition dans le monde en 2018. Rapport sur indice et indicateur de développement humain. Press release ; 18 p.
- Pouomogne V., 1994. *L'Alimentation du Tilapia Oreochromis niloticus en étang. Evaluation du potentiel de quelques sous-produits agro-alimentaire et modalités d'apport des aliments*. Thèse de Doctorat en Halieutique de l'ENSAR, Rennes (France), 160 p.
- Pouomogne V., 1996. *Cours d'alimentation artificielle des poissons*. CNFZV Foumban. 47 p.
- Pouomogne V., 1998. Pisciculture en milieu tropical africain : comment produire du poisson à coût modéré. CEPID/Coopération Française, Yaoundé (Cameroun), Presses Universitaire d'Afrique, 236 p.
- Pouomogne V., 2005. Study and analysis of feed and nutrients (including fertilizers) for sustainable aquaculture development in Cameroon. *Report worldFish Center*. Yaoundé (Cameroun), 35 p.
- Pouomogne V., 2007. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in Cameroon. In: Hasan M. R, Hecht T., De Silva S. S., Tacon A. G. J., (eds). Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper*. FAO (Ed), Rome (Italie), 497: 381–399.
- Pouomogne V., 2008. Capture-based aquaculture of Clarias catfish: case study of the Santchou fishers in western Cameroon. In: Lovatelli A. Holthus P. F., (eds). *Capture-based aquaculture*. Global overview FAO Fisheries Technical Paper, FAO (Ed), Rome (Italie), 508: 93-108.
- Pouomogne V., Pems D. E., 2008. Recommendation domains for pond aquaculture. Country Case study: Development and status of freshwater aquaculture in Cameroon-Worldfish Center Studies and reviews N° 1871, The WorldFish Center (Ed.), Penang (Malaysia), 60 p.
- Pourriot R., 1977. Food and feeding habits of the Rotifera, *Hydrobiology*, 8:243-260.
- Pourriot R., 1980. Rotifères. In : ORSTOM, Durant et Levêque (ed), Flore et faune aquatique de l'Afrique sahélo-soudanienne 1, Paris ; 218 – 244.
- Pourriot R. et Champ P., 1982. Consommateurs et producteurs secondaires. In : Pourriot R. Caplancq J., Champ P. & Meyer J. A. eds., *Ecologie du plancton des eaux continentales*. Masson, Collection Ecologie, Paris, New-york, Barcelone, Milan ; 11 : 49-146.
- Pourriot R., Benest D., Champ P., Rougier C., 1982. Influence de quelques facteurs du milieu sur la composition et la dynamique saisonnière du zooplancton de la Loire. *Acta. Oecol. Gener.*, 3(3): 353-371.

- Pourriot R., Francez A. J., 1986. Rotifères, Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises 8, *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon* ; 37 p.
- Rahman M. M., 2006. Food web interactions and nutrients dynamics in polyculture ponds, PhD Thesis of Wageningen University, Wageningen (The Netherlands), 168 p.
- Ranson P. S., 2003. L'alimentation de la carpe (*Cyprinus carpio*) dans son biotope et en élevage. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Fac. Méd. De Creteil, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, France, 120 p.
- Rey J., Saint Jean L., 1980. Branchiopodes (Cladocères). In : Durant et Levêque (ed.), Flore et faune aquatique de l'Afrique sahélo-soudannienne I, IDT ORSTOM Paris ; 307-332.
- Reynolds, 1984. The natural history of biospeleology.. Madrib. Mun. Nac. Cien. Nat Sc. S.I.C., Monografias. 7 : 609-680.
- Riedacker A., Adjahossou D. F., 2009. Les contraintes d'une production soutenable: sécurité alimentaire et changement climatique en Afrique sub-saharienne. In: Bourgeois L., Racape J., D'Orfeuil H. R., Défi alimentaire mondial : les politiques face à la faim et à la pauvreté Pour (ed), GREP, Paris (France) ; (202/203) :125-132.
- Risse M. et Gaskin J., 2002. Best management practices for Wood Ash as agricultural soil amendment. University of Georgia, College of Agricultural and environmental Sciences Cooperative extension service (Ed.) , Athens, Georgia (USA), Bulletin 11 (2):1-44.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. Analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris ; 1526 p.
- Rukera T. S., Micha J. C., Ducarme C., 2005. Essais d'adaptation de production massive de juveniles de *Clarias gariepinus* en conditions rurales. *Tropicultura*, 23 (4) : 231-244
- Ruttner-Kolisko A., 1977. Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Limnology*, 8 :71-76.
- Satia B. P., Satia P. N., Amin A., 1992. Reconnaissance survey of socioeconomic conditions of fish farmers and aquaculture practices in the west and Northwest province of Cameroon. In: Bernacsek G. M. and Powles H. (Eds), Proceeding of workshop "Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique", 14-17 November 1988 Bouaké (Côte d'Ivoire); IDRC- MR308 e,f, *International Development Research Centre*, Ottawa (Canada), 64-90.
- Schlumberger O., 2002. Mémento de la pisciculture d'étang, 4<sup>ième</sup> édition. CEMAGREF (Ed), Montpellier (France), 237 p.
- Schlumberger O. et Bouretz N., 2018. Réseaux trophiques et production piscicole en étangs fertilisés (Dordogne, France). *Revue des sciences de l'eau*, 15 (1) : 177-192
- Schroeder G. L. 1980. *Fish farming in manure loaded ponds*. In: Pulling R.S.V., Shehadeh Z.H. (eds), Integrated agriculture farming systems. ICLARM (Publ.), Manille, Philippines; 86 p.

- Schroeder G. L., Wohlfarth G. W., Alkon A., Halevy A., Krueger H., 1990. The dominance of algal based food webs in fish ponds receiving chemical fertilizers plus organic manures. *Aquaculture* 86: 219-229.
- Segers H., Mertens J., 1997. New rotifer from the Korup National Park, Cameroon. *Journal of Natural History*; 31: 663-668.
- Shannon C. E., Weaver W., 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, Illinois University Press, 177 p.
- Shiel R. J., 1995. A guide to identification of rotifers cladocerans, and copepods from Australian inland water. CRCFE ident. Guide 3, 144 p.
- Shiel R.J., Green J.D. and Nielsen D.L., 1998. Floodplain biodiversity: why are there so many species? *Hydrobiologia*; 387/388: 39-46.
- Shourbela R. M., El-Hawarry W. N., Abd El-Rahman S. H., 2016. Interactive effects of stocking density and feed type on growth, survival and cannibalism among African catfish (*Clarias gaariepinus* Burchell 1822). *Journal of Animals Feeding Resources* ; 6 (3):73-82.
- Sighomnou D., 2004. *Analyse et définition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun: perspectives d'évolution des ressources en eau*. Thèse de doctorat 3<sup>e</sup> cycle en Sciences naturelles, spécialité : Sciences de l'eau. Université de Yaoundé I, Cameroun ; 292 p.
- SIGMA Environmental Consultants Ltd, 1983. Summary of water quality criteria for salmonids fishes, Department of Fisheries and Ocean, SECL 8067: 49-58.
- Sime-Ngando T., Hartmann H.J., Groliere C.A., 1990. Rapid quantification of planktonic ciliates: comparison of improved live counting with other methods. *Applied and Environmental Microbiology*;56: 2234-2242.
- Simpson E. H., 1949. Measurement of diversity, *Nature* ed. London. 688 p.
- Sladeczek V., 1983. Rotifers as indicators of water quality, 100:169-201.
- Smirnov N. N. et Korovchinsky N., 1995. Introduction to the Cladocera I. T. C., University of Ghent, Belgium; 76 p.
- Spencer C. N. et King D. L., 1984. Role of fish in regulation of plant and animal communities in eutrophic ponds. *Canadian Journal and Fishing Aquatic Sciences*; 41: 1851-1855.
- Subasinghe R., 2006. The State of world aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper, FAO (Ed), Rome (Italie), 500, 134 p.
- Suchel B., 1987. La répartition des pluies et des régions pluviométriques au Cameroun. Travaux et documents de géographie tropicale, *C-E-G-CNRS*, 5: 1-288.
- Tamassia S. T. J., 2011. Indicadores técnico-econômicos para o gerenciamento do modelo alto vale do itajaí de piscicultura integrada (MAVIPI). Tese em Aquicultura do Centro de Aquicultura da da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), São Paulo, Brésil, 230 p.

- Tangou, 2009. Evaluation des réglementations et des programmes aquacoles au Cameroun. Projet SARNISSA en 2009. 44 p. [www.sarnissa.org](http://www.sarnissa.org).
- Telesh I. V., 1993. The effect of fish on planctonic rotifers. *Hydrobiologia* ; (255/256): 289-296.
- Thabet R., 2017. Etude comparative de l'élevage du Tilapia du Nil « *Oreochromis niloticus* » entre les eaux douces et géothermales en Tunisie. Mémoire de fin d'étude en Master, Institut Supérieur de pêche et d'aquaculture de Bizerte\_Tunisie (Agro-Campus Ouest), 50 p.
- Tiogoue C., 2012. *Régime alimentaire, caractéristiques de croissance et de reproduction de la carpe africaine Labeobarbus batesii Boulenger, 1903 (Teleostei: cyprinidae) en milieu naturel dans la plaine inondable des Mbô au Cameroun*, Thèse de doctorat Ph.D en biotechnologies et productions animales, Université de Dschang, 158 p.
- Tiogoue C. T., Nguenga D., Tomedi E. T. M., Tchoumboue J., 2008. Quelques performances reproductives et taux de survie des deux souches du poisson chat Africain *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et de leurs croisés à Koupa Matapit. *International Biology and Chemistry Science* ; 2(4): 469-477.
- Tiogoue C. T., Zango P., Efolé E. T., Kenfack M., Tekwombuo J., Tekou G., Domwa M., Tomedi E. M. T., Tchoumboué J., 2014. Monthly Frequency Occurrence, Sex-ratio, Length-weight Relationship and condition Factor of Native Fishes Caught in a Tropical Floodplain Rivers of Cameroon, Central Africa. *Journal of Scientific Research & Reports*, 3 (22): 2864-2874.
- Tuan V. D., Porphyre V., Farinet J. L., Toan T. D., 2006. Composition of animal manure and co-products. In Porphyre V., Nguyen Que Coi (Eds). Pig production development animal-waste management and environment protection: a case study in Thai Binh province, Northern Vietnam, PRISE Publication, Hanoi (Vietnam); 128-143.
- Tomedi Eyango M., Efolé Ewoukem T., Blé M. C., Ndzana B. E. B., Songmo B. L., Nyamsi Tchatcho N. L., Mikolasek O., Tchoumboungang F., 2015. Rizipisciculture : voie d'intensification écologique des systèmes piscicoles extensifs. *Fiches Techniques. & Documents de Vulgarisation- Volume spécial*; 18-23
- Ustun F., Bat L., Sahin F., 2019. Composition, abundance and biomass of Mesozooplankton in the South western Black Sea Along the coast of Igneada, Turkey. *Biologia*. 10(1) : 56-78.
- Van De Kerchove V., Carpaye D., Medoc J. M., 2002. L'épandage pour tirer parti de l'intérêt agronomique des matières organiques. Exemple de l'Île de la Réunion. In : Mémento de l'agronome. [CD-ROM]. Montpellier, France: Cirad, Gret, France-MAE; 76 p.
- Veverica K. L., Rurangwa E., Popma T., Seim W. K., Tubb R. E., 1991. Digestibility of food consumed by *Oreochromis niloticus* in fertilized ponds. Technicals reports, Ninth annual administrative report, Pond dynamics/ *Aquaculture collaborative Research Support Program*, Oregon state University, Corvallis, Etats-Unis; 41-44.

- Verneaux J., 1973. *Cours d'eau de Franche-Comté (massif de Jura) : Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Doubs*. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de docteur ès Sciences Naturelles, 257 p.
- Viner A. B., 1969. The chemistry of the water of Lake George, Uganda. *Limnologia.*, 17 : 289-296
- Viveen W., Richter C. J. J., Van Oordt P. G. W. J., Janssen J., Huisman E. A., 1985. Manuel pratique de pisciculture du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*). Direction Générale de la Coopération Internationale du Ministère des Affaires Etrangères, La Haye, Pays-Bas. 94 p.
- Wallace R.L., Snell T.W., 2001. Phylum Rotifera. In: Thorpe J. H. & O'vich A. P. Eds Second edition. Ecology and classification of North *Américan Freshwater Invertebrates*. Academic Press, New- York; 2: 195-254.
- Wetzel R.G., 1983. *Limnology*. Saunders college (Publ.), Forth, Worth, Etats-Unis, 859 p.
- WFC, 2011. Aquaculture, Fisheries, Poverty and Food Security. WFC, 62 p. [http://pubs.iclarm.net/resource-centre/wf\\_2971.pdf](http://pubs.iclarm.net/resource-centre/wf_2971.pdf).
- Wohlfarth G.W., Schroeder G.L., 1991. Potential benefits of manure in aquaculture: a note qualifying the conclusions from our paper on the dominance of algal- based food webs in fish ponds. *Aquaculture*\_94: 307-308.
- Wonkna D., Bopda A., Pokam W. J., Ngieyip I., Isseri F. G., Ndembou S., Tatsabong B., Akwe B. B., Foyang L., Lontchi P., Daraoudaï J., Tchougnia J. P., Odi Essomba B., Elat Olinga O. M., 2003. Projet d'appui à l'aménagement de la zone périurbaine Yaoundé Nsimalen (UNGC/ADIE-INC), rapport final de recherche et analyse documentaire, Institut National de cartographie, Cameroun, 60 p.
- Wurtz W. A., Durborow R. M., 1982. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds, southern Regional Aquaculture center, U.S., 464:1-4.
- Yao H. A., Koumi A. R., Nobah C. S. K., Atse C. B. et Kouamelan P. E., 2016. Evaluation de la compétitivité des systèmes piscicoles pratiqués en Côte d'Ivoire: Gestion, alimentation et production. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (3) : 1086-1097.
- Yashouv A., Chervinski J., 1961. The food of tilapia nilotica in ponds of the fish culture research station at Dor. *Bamidgeh* 13(2): 33-39.
- Zango P., 2017. *Réponse du poisson-chat Clarias jaensis (Boulenger, 1909) à l'induction hormonale de la ponte, à l'alimentation des larves aux Zooplanctons et au grossissement en système semi-intensif*. Thèse de Doctorat/Ph. D en Biotechnologie et productions animales. Université de Dschang (Cameroun), 126 p. + Annexes.
- Zango P., Tomedi E. T. M., Efole Ewoukem T., Tiogue Tekounegning C., Nguenga D., Kamanke M. S., Misolasek O., Tchoumboue J., 2016. Performances de reproduction du poisson chat endogène du Cameroun *Clarias Jaensis* (Boulenger, 1909) en milieu contrôlé. *International Journal of Biology and Chemistry Sciences* ; 10(2) : 533-542.

- Zébazé Togouet S. H., 2000. *Biodiversité et dynamique des populations de Zooplancton (Ciliés, Rotifères, Cladocères et Copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun)*. Thèse Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Yaoundé I, Cameroun, 175p + Annexes.
- Zébazé Togouet S. H., 2008. *Eutrophisation et dynamique de l'abondance, de la composition spécifique et de la structure de la communauté zooplanctonique d'un petit lac peu profond situé en zone tropicale urbanisée, le Lac Municipal de Yaoundé (Afrique Centrale)*. Thèse Doctorat Ph. D ès Science en Biologie Animale, Université de Yaoundé I, Cameroun, 191p + Annexes.
- Zébazé Togouet S. H., Njiné T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Monkiedje A., Niyitegeka D., Simé-Ngando T., & Jugnia L. B., 2005. Variations spatiales et temporelles de la richesse et de l'abondance des rotifères (Brachionidae et Trichocercidae) et des cladocères dans un petit lac artificiel eutrophe situé en zone tropicale. *Revue des Sciences de l'eau* ; 18 : 485-506.
- Zébazé Togouet S.H., Njiné T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Niyitegeka D., Ngassam P. et Boutin C., 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., Dakwen J. P., Foto Membohan S., Banga Medjo M. P., Essomba Biloa R. E., Njiné T., 2015. Influence d'un enrichissement sommaire sur la biomasse zooplanctonique des étangs piscicoles *in situ* en zone tropicale (Cameroun- Afrique Centrale). *European Journal of Scientific Research*; 131 (1) : 22- 40.



# **ANNEXES**

**Annexe 1** : Variations moyennes de la pluviométrie et de la température en 2012 et 2014 à Yaoundé/Nsimalen

	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Année 2012	Température (°c)	25,5	25,9	25,1	24,6	24	23,8	23,3	23,2	23,5	23,4	24,8	25,2
	Précipitations (mm)	23,3	10,2	156	224	240,4	257,2	96,9	131	270,4	379,2	210,5	11,2
Année 2014	Température (°c)	26	25,4	25,6	24,7	24,5	24,4	23,8	24,1	23,7	23,5	24,3	24,7
	Précipitations (mm)	30,1	33,9	279	211	277,6	176,4	118	168,8	291,1	321,6	243,3	22,7

**Annexe 2** : Moyennes, maxima et minima des valeurs de la physicochimie et de la chlorophylle *a* obtenu pendant la phase de démarrage

Paramètres	E1				E2				E3				ET			
	Moy.	Ecart type	Max.	Min	Moy.	Ecart type	Max.	Min	Moy.	Ecart type	Max.	Min	Moy.	Ecart type	Max.	Min
T (°C)	25,39	1,077	27	24	25,11	0,975	26	22,3	24,61	1,077	26	22	26,5	1,182	28,7	24,4
Secchi (cm)	30,21	5,338	45	23	25,64	5,514	35	15	33,64	7,622	45	20	20,929	6,269	35	15
Alcalinité (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	45,57	27,2	90	12	46	29,52	126	12	46,71	30,99	102	16	79,571	33,38	168	40
MES (mg/L)	25,5	18,08	62	6	19,36	14,23	51	1	15,21	14,71	39	0	76,286	101	396	0
Dureté calcique (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	6,429	3,777	16	2	4,643	2,53	12	2	5,714	3,989	18	2	20,657	7,765	32,2	10
Couleur (UPt.Co)	340,6	207,8	808	6	368,8	236,5	928	12	253,1	283,1	1140	29	613,29	720,2	2800	0
PH (U.C.)	6,183	0,317	6,62	5,6	6,128	0,387	6,76	5,28	6,121	0,372	6,76	5,26	6,9429	0,503	8,2	5,97
Turbidité (FTU)	37,36	14,61	64	8	30,29	12,25	64	15	19,75	8,331	32	4	96,429	137,9	556	18
Conductivité (µS/cm)	95,89	27,23	174,5	73	100,5	34	197,9	72	90,96	34,56	184,5	51,8	166,29	89,3	364	92
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	5,866	8,452	13,2	0,4	4,324	3,824	12,48	0	3,955	3,175	12,48	0	5,3293	4,036	13,12	1,25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,168	0,432	1,6	0	0,094	0,291	1,1	0	0,214	0,373	1,2	0	0,3857	0,613	2,1	0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,022	0,03	0,1	0	0,047	0,091	0,33	0	0,025	0,038	0,15	0	0,0199	0,02	0,055	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	1,889	1,827	4,72	0,1	3,157	2,907	9,8	0,15	2,245	2,576	7,16	0,12	1,4307	2,559	9,8	0,09
Chl <i>a</i> (mg/L)	0,162	0,201	0,645	0	0,171	0,187	0,487	0	0,175	0,274	1,08	0	0,0482	0,025	0,094	0,01
Oxydabilité (mg/L)	7,446	1,94	9,95	3,6	6,47	2,038	8,88	2,45	4,865	1,631	7,25	1	13,436	7,217	31,6	3,36
O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	2,688	1,927	6,29	0,4	2,849	1,811	6,13	0,58	3,356	1,572	6,43	0,44	3,8779	1,817	6,5	0,38

**Annexe 3** : Moyennes, maxima et minima des valeurs de la physicochimie et de la chlorophylle *a* obtenu pendant le cycle complet de l'élevage

Paramètres	E1				E2				E3				ET			
	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.
T (°C)	24,33	1,031	26	23	24,44	0,682	25	23	24,22	10,9	26	0,682	26,122	0,973	27,5	24,5
Secchi (cm)	31,22	5,995	40	20	24,5	4,535	32	18	34,11	12,48	40	4,535	18,756	4,475	25,5	12
Alcalinité (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	38,31	22,63	83	14	40,67	24,32	97	16	33,78	31,33	97	14	61,722	29,64	130	32
MES (mg/L)	19,32	20,27	58	0	18,56	17,8	59	0	14,89	22,79	59	0	54,778	40,98	112	1
Dureté calcique (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	5,244	1,788	8,5	3,3	6,667	3,775	14	3	5,667	3,962	14	2	15,111	7,814	29	6
Couleur (UPt.Co)	218,3	171,2	450	0	232	229,9	682	0	206,7	226,6	682	0	477,98	354,1	942	9,5
PH (U.C.)	6,539	0,525	7,56	5,9	6,569	0,453	7,46	5,78	6,476	2,914	7,56	0,453	6,6767	0,435	7,13	6
Turbidité (FTU)	35,99	8,474	56	30	32,67	15,73	67	17	29,33	20,21	67	8,474	86,044	44,65	174	29,5
Conductivité (µS/cm)	84,14	25,31	144,5	61	97,14	31,59	167,2	68	84,84	50,31	167,2	25,31	131,73	62,93	270	65
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	4,973	6,665	11,02	0,1	6	6,307	17,6	0,23	3,642	5,685	11	0,12	4,21	2,381	8,57	1,17
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,737	1,543	4,8	0	0,127	0,293	0,9	0	0,117	1,606	4,8	0	0,9167	1,173	3,6	0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,018	0,018	0,051	0	0,064	0,105	0,331	0	0,013	0,11	0,331	0	0,9234	2,691	8,1	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	2,636	2,928	9,68	0,3	3,132	2,979	9,76	0,28	2,626	3,736	9,76	0,28	1,0533	1,589	5,17	0,11
Chl <i>a</i> (mg/L)	0,421	0,612	1,582	0	0,586	0,878	2,259	0,039	0,332	0,771	2,259	0,02	0,0556	0,032	0,12	0,01
Oxydabilité (mg/L)	6,272	2,13	8,78	1,7	5,303	1,719	7,19	2,25	4,602	2,817	8,78	1,7	15,344	7,504	24	1,4
O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	2,7	1,191	4,77	0,8	2,706	1,731	5,05	0,38	3,268	1,753	5,05	0,38	4,7322	2,39	8,8	0,89

**Annexe 4:** Moyennes, maxima et minima des valeurs de l'abondance ( ind./L) du zooplancton enregistrée pendant la phase de démarrage

Espèces	E1				E2				E3				ET			
	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.
<i>Asplanchna brightwelli</i>	8,071	11,78	34	0	8,214	16,76	56	0	5,786	7,837	24	0	41,714	74,72	268	0
<i>Asplanchna herricki</i>	0,214	0,579	2	0	0,286	1,069	4	0	0,286	1,069	4	0	0	0	0	0
<i>Asplanchna sp.</i>	0,214	0,802	3	0	3,5	11,73	44	0	0,071	0,267	1	0	1,7143	4,358	16	0
<i>Anuraeopsis fissa</i>	5,786	7,149	20	0	17,93	41,1	154	0	13	24,81	88	0	18,286	38,44	143	0
<i>Anuraeopsis naviculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0
<i>Notholca acurinata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,071	0,267	1	0	21,143	77,97	292	0
<i>Brachionus angularis</i>	71,79	68,36	229	5	154,7	188,8	730	0	69,07	79,68	218	0	670,93	621,7	2143	22
<i>Brachionus quadridentatus</i>	0,071	0,267	1	0	0,357	0,842	3	0	2,429	3,275	11	0	82,857	308	1153	0
<i>Brachionus patulus</i>	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0	0,071	0,267	1	0	0	0	0	0
<i>Brachionus leydigi</i>	1,071	2,165	6	0	14,36	31,71	91	0	0,714	1,899	7	0	4	10,25	37	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0,571	1,399	5	0	7,643	14,12	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	13,86	34,97	126	0	9,786	15,88	56	0	1,571	2,027	6	0	18,143	40,08	142	0
<i>Brachionus bidentatus</i>	1,929	4,615	16	0	1,143	2,538	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus quadridentatus</i> var clunio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,5	71,42	265	0
<i>Brachionus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	151,5	568	0
<i>Brachionus rubens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,214	80,55	302	0
<i>Gastropus hyptopus</i>	0,571	2,138	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56,214	95,77	314	0
<i>Ascomorpha saltans</i>	1,857	4,865	16	0	0,571	1,505	5	0	0	0	0	0	3,3571	12	45	0
<i>Lepadella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0
<i>Colurella sp.</i>	4	10,76	40	0	1,643	6,147	23	0	2,071	7,751	29	0	0	0	0	0
<i>Epiphanes clavatula</i>	0,429	0,938	3	0	7,286	23,53	88	0	0	0	0	0	2,8571	9,599	36	0
<i>Epiphanes macrouros</i>	4,214	6,327	19	0	2,929	6,592	24	0	0	0	0	0	300,57	581,9	2195	0
<i>Epiphanes brachionus</i> <i>brachionus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,571	127,9	479	0
<i>Euchlanis dilatata</i>	13,93	41,19	156	0	3,214	9,399	35	0	1,429	3,48	11	0	0	0	0	0
<i>Cephalodella megalcephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1,345	5	0	0	0	0	0
<i>Cephalodella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,143	0,363	1	0	0	0	0	0

<i>Filinia intermedia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,214	0,579	2	0	0	0	0	0
<i>Filinia longiseta</i>	2,571	6,583	25	0	9,929	26,51	98	0	3,714	10,38	37	0	86,929	215,8	827	0
<i>Hexarthra intermedia</i>	1,643	3,895	13	0	15,5	36,53	119	0	4,786	10,23	39	0	0	0	0	0
<i>Mytilina bisulcata</i>	2	6,102	23	0	0,786	2,225	8	0	0,571	1,158	4	0	3,1429	6,298	22	0
<i>Lecane bulla</i>	4,214	9,901	38	0	5,143	9,347	35	0	5,571	7,251	28	0	0	0	0	0
<i>Lecane papuana</i>	6,429	11,43	39	0	3,429	7,046	26	0	2,571	5,598	21	0	0	0	0	0
<i>Synchaeta vorax</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,143	37,95	142	0
<i>Synchaeta monopus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,5	203,9	763	0
<i>Polyarthra dolycopera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,857	65,35	246	0
<i>Polyarthra vulgaris</i>	22,86	25,1	73	0	33,57	51,98	185	0	17,86	23,96	82	0	24,643	42,97	153	0
<i>Pompholyx complanata</i>	0,143	0,535	2	0	2,071	7,751	29	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0
<i>Rotaria citrina</i>	0,214	0,579	2	0	0	0	0	0	0,286	0,825	3	0	0	0	0	0
<i>Rotaria sp.</i>	0	0	0	0	0,643	1,336	4	0	0,286	0,726	2	0	0	0	0	0
<i>Rotaria rotaria</i>	3,286	6,73	26	0	9,714	29,53	112	0	4,286	5,045	14	0	18,929	50,5	187	0
<i>Rotaria neptuna</i>	0,071	0,267	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Testidunella patina</i>	1,286	2,867	10	0	2,786	3,239	9	0	0,429	1,604	6	0	4,2857	8,507	27	0
<i>Testidunella bidens</i>	0,071	0,267	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca pusilla</i>	1,143	4,276	16	0	0,429	0,938	3	0	5,5	13,52	46	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca cylindrica</i>	0	0	0	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	4,071	10,28	38	0	42,57	97,08	280	0	1	2,418	9	0	0	0	0	0
<i>Chydorus sp.</i>	0	0	0	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma volzi</i>	2,357	5,93	22	0	8,929	14,94	44	0	2,643	3,973	12	0	0	0	0	0
<i>Moina micrura</i>	5,714	7,81	22	0	18,5	28,84	95	0	6,286	15,75	55	0	50,857	65,04	209	0
<i>Moina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3571	6,834	20	0
<i>Thermocyclops sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,214	35,49	113	0
<i>Tropocyclops confinis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,857	16,78	50	0
<i>Mesocyclops salinus</i>	4,143	5,749	19	0	42,14	85,79	270	0	2,714	9,068	34	0	30,786	59,03	204	0
<i>Acanthocyclops sp.</i>	0	0	0	0	0,286	1,069	4	0	0,214	0,802	3	0	0	0	0	0
Larve nauplius	12,36	12,98	37	0	37,29	39,1	149	3	33,14	33,07	126	2	77,214	82,01	265	0
Copépodites	0	0	0	0	0	0	0	0	3,857	5,559	19	0	37,857	38,05	127	0

**Annexe 5:** Moyennes, maxima et minima des valeurs de l'abondance (ind./L) du zooplancton enregistrée pendant le cycle complet d'élevage

Espèces	E1				E2				E3				ET			
	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.	Moy.	Ecart type	Max.	Min.
<i>Asplanchna brightwelli</i>	7,444	3,812	13	3	5,333	6,384	19	0	3,667	3,969	13	0	25,444	29,38	81	5
<i>Asplanchna herricki</i>	0,111	0,333	1	0	0,111	0,333	1	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0
<i>Asplanchna sp.</i>	0,111	0,333	1	0	1,111	3,333	10	0	0,111	0,333	1	0	0,5556	1,333	4	0
<i>Anuraeopsis fissa</i>	34,78	59	143	0	21	25,93	80	0	13,22	12,62	36	0	9,6667	15,87	48	0
<i>Anuraeopsis naviculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0
<i>Notholca sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	6,6667	20	60	0
<i>Brachionus angularis</i>	57,67	29,03	99	15	145,8	103,1	280	22	45,78	45,29	143	13	675,33	556,4	1942	9
<i>Brachionus quadridentatus</i>	3,778	5,696	15	0	0,778	1,093	3	0	5,222	7,242	20	0	94,889	191,3	577	0
<i>Brachionus patulus</i>	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0
<i>Brachionus leydigi</i>	1,889	3,951	12	0	11	29,32	89	0	2,667	3,674	9	0	4	5,074	12	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0,333	0,707	2	0	4,333	8,775	27	0	0,778	1,716	5	0	0	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	12,89	13,31	42	1	21,89	19,74	57	0	3,222	2,774	9	0	45,889	60,53	167	0
<i>Brachionus bidentatus</i>	1,222	2,635	8	0	1,444	2,651	7	0	0,667	2	6	0	0	0	0	0
<i>Brachionus quadridentatus</i> var <i>clunio</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,6667	21,52	63	0
<i>Brachionus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,667	105,9	320	0
<i>Brachionus rubens</i>	0	0	0	0	0,333	1	3	0	0,444	1,333	4	0	19,222	49,54	151	0
<i>Platijas quadricornis</i>	17,78	53,33	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gastropus hyptopus</i>	1,556	3,972	12	0	0,222	0,667	2	0	0	0	0	0	34,222	37,16	89	0
<i>Ascomorpha saltans</i>	1,556	2,404	6	0	0,222	0,441	1	0	0	0	0	0	3,8889	7,507	19	0
<i>Lepadella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,222	0,667	2	0	0	0	0	0
<i>Colurella sp.</i>	1,556	3,972	12	0	0,889	2,667	8	0	1,889	4,961	15	0	0	0	0	0
<i>Epiphanes clavatula</i>	0,222	0,441	1	0	2,444	5,981	18	0	0	0	0	0	2,1111	5,968	18	0
<i>Epiphanes macrourous</i>	8,667	10,38	26	0	8,111	11,24	36	0	2,111	3,219	9	0	175,56	193,6	479	0

<i>Epiphanes brachionus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,778	79,59	239	0
<i>Microcodides robustus</i>	0,333	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euchlanis dilatata</i>	10,11	27,05	82	0	1,222	2,728	8	0	1	1,5	3	0	1,3333	4	12	0
<i>Cephalodella megalcephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,333	0,707	2	0	0	0	0	0
<i>Cephalodella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,222	0,441	1	0	0	0	0	0
<i>Filinia intermedia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0
<i>Filinia longiseta</i>	1,111	2,619	8	0	3,333	7,483	22	0	1,222	3,667	11	0	51,444	61,23	168	0
<i>Hexarthra intermedia</i>	1	1,732	4	0	5	13,23	40	0	3	6,519	20	0	0	0	0	0
<i>Mytilina bisulcata</i>	0,444	0,726	2	0	0,889	1,364	3	0	1	2,291	7	0	1,2222	2,539	7	0
<i>Lecane bulla</i>	5,111	6,431	18	0	4	8,047	24	0	4	5,339	17	0	1,6667	4	12	0
<i>Lecane papuana</i>	4,444	6,948	20	0	2,667	5,5	17	0	1,778	2,587	8	0	5,4444	11,8	36	0
<i>Synchaeta vorax</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,8889	23,67	71	0
<i>Synchaeta monopus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,444	127,3	382	0
<i>Polyarthra dolycoptera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,5556	16,39	50	0
<i>Polyarthra vulgaris</i>	18,89	14,45	41	0	17,78	17,84	53	0	21,44	34,32	106	0	57,889	79,22	233	0
<i>Pompholyx complanata</i>	1,556	4,304	13	0	0,667	2	6	0	0,222	0,667	2	0	0	0	0	0
<i>Rotaria citrina</i>	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0	0,222	0,441	1	0	35,444	66,96	207	0
<i>Rotaria sp.</i>	0	0	0	0	0,222	0,667	2	0	0,222	0,667	2	0	0	0	0	0
<i>Rotaria rotaria</i>	9,667	8,124	25	0	10,56	12,62	40	0	9,222	5,696	20	1	44	47,04	107	0
<i>Rotaria neptuna</i>	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Testidunella patina</i>	1,333	2,236	6	0	5,111	11,15	34	0	1,222	1,986	6	0	10,222	11,27	34	0
<i>Testidunella bidens</i>	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca elongata</i>	0,889	2,667	8	0	0	0	0	0	2,333	4,69	12	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca sp.</i>	9,444	25,47	77	0	0,333	0,707	2	0	8,889	25,93	78	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca pusilla</i>	3,222	9,667	29	0	0,778	1,563	4	0	2,667	5,657	16	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca cylindrica</i>	0	0	0	0	0,778	1,563	4	0	1,111	2,977	9	0	0	0	0	0
<i>Lacinularia flosculosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,222	0,667	2	0	0	0	0	0
<i>Harringa eupoda</i>	1,667	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	2,111	3,951	10	0	33,33	88,94	270	0	1,222	1,922	5	0	0	0	0	0

<i>Chydorus</i> sp.	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma volzi</i>	2,444	3,087	7	0	5,667	10,16	30	0	2,556	3,468	11	0	0	0	0	0
<i>Moina micrura</i>	7,333	7,228	21	0	15,56	25,11	81	0	6,778	13,31	41	0	47,556	46,73	134	0
<i>Moina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1111	4,372	10	0
<i>Macrothrix</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3333	4,301	12	0
<i>Thermocyclops</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,6667	13,63	39	0
<i>Tropocyclops confinis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,333	17,68	57	0
<i>Mesocyclops salinus</i>	11,44	10,75	31	1	31,67	79,32	243	2	9	10,91	33	0	19,222	24,53	74	0
<i>Acanthocyclops</i> sp.	0	0	0	0	0,111	0,333	1	0	0,111	0,333	1	0	0	0	0	0
Larve nauplius	30,22	25,31	78	3	24,89	22,46	70	0	36,44	17,69	74	16	79,667	83,53	267	0
Copépodites	0	0	0	0	0	0	0	0	1,667	2,693	7	0	26,333	24,38	62	0

**Annexe 6: Biomasse moyenne (mgC/L) des individus par espèces et par étang**

Espèces	Formule de calcul du biovolume	E1	E2	E3	ET
<i>Asplanchna brightwelli</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	1,2324	3,8104	1,3908	33,1372
<i>Asplanchna sp.</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0,7187	0,8959	0	11,7461
<i>Anuraeopsis fissa</i>	0,33 ab <sup>2</sup>	0,0527	0,09158	0,0626	0,0732
<i>Notholca acurinata</i>	0,52 abc + 10% BV	0	0	0	0,9474
<i>Brachionus angularis</i>	0,52 abc	0,2356	0,4398	0,2176	0,5263
<i>Brachionus quadridentatus</i>	0,52 abc + 10% BV	1,1618	1,1722	2,2873	26,191
<i>Brachionus quadridentatus</i> var.	0,52 abc + 10% BV	0	0	0	0,3357
<i>Brachionus leydigi</i>	0,52 abc + 10% BV	7,3979	6,3491	1,599	5,9961
<i>Brachionus falcatus</i>	0,52 abc + 10% BV	0,6682	0,8706	0,6587	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0,52 abc + 10% BV	4,0885	2,7751	2,1686	20,897
<i>Brachionus bidentatus</i>	0,52 abc + 10% BV	1,11	1,7729	1,2	0
<i>Brachionus rubens</i>	0,52 abc + 10% BV	0	0	0	1,1792
<i>Brachionus sp.</i>	0,52 abc + 5% BV	0	0	0	45,5135
<i>Gastropus hyptopus</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 10% BV	0,0978	0	0	0,6044
<i>Ascomorpha saltans</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0,0274	0	0	0,3513
<i>Colurella sp.</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0,1322	0,3498	0,095	0
<i>Epiphanes brachionus brachionus</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 10% BV	0	0	0	65,2191
<i>Epiphanes clavatula</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0	1,475	0	73,4043
<i>Epiphanes macrorous</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	1,5783	1,1281	1,6229	0,78
<i>Euchlanis dilatata</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0,1936	0,9458	0	0,9651
<i>Cephalodella sp.</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0	0	0,0847	0
<i>Filinia intermedia</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 10% BV	0	0	0	0
<i>Filinia longiseta</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 10% BV	0,0891	0,1048	0,1321	0,271
<i>Hexarthra intermedia</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 10% BV	0,1841	0,3555	0,2533	0
<i>Mytilina bisulcata</i>	abc + 10% BV	0,0166	0,3929	0,013	0,6102
<i>Synchaeta vorax</i>	0,26 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0	0	0	33,4624
<i>Synchaeta monopus</i>	0,26 ab <sup>2</sup>	0	0	0	31,8689
<i>Lecane bulla</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0,4373	0,2739	0,4156	0,2667
<i>Lecane papuana</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0,4673	0,3796	0,3656	0,3796
<i>Polyarthra dolycoptera</i>	abc + 10% BV	0	0	0	0,6358
<i>Polyarthra vulgaris</i>	abc + 10% BV	0,0589	0,1317	0,5674	0,3884
<i>Pompholyx complanata</i>	0,4 abc	0,0494	0,0453	0	0
<i>Rotaria citrina</i>	0,52 ab <sup>2</sup>	0	0	0	1,0792
<i>Rotaria sp.</i>	0,26 ab <sup>2</sup>	0	0,0942	0	0
<i>Rotaria rotaria</i>	0,26 ab <sup>2</sup>	0,0147	0,2291	0,4867	0,2482
<i>Testidunella patina</i>	0,628 a <sup>3</sup> + 10% BV	11,1198	16,6733	10,473	42,0265
<i>Trichocerca pusilla</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0,022	0	0,0612	0
<i>Trichocerca cylindrica</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0,0246	0	0,1761	0
<i>Trichocerca elongata</i>	0,52 ab <sup>2</sup> + 5% BV	0	0	0,0682	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	(0,33 ab <sup>2</sup> + 0,33 LI <sup>2</sup> ) + 10% BV	3,6211	2,2893	4,1261	0
<i>Diaphanosoma volzi</i>	(0,33 ab <sup>2</sup> + 0,33 LI <sup>2</sup> ) + 10% BV	4,2258	2,2637	4,0313	0

<i>Moina micrura</i>	$(0,33 ab^2 + 0,33 LI^2) + 10\% BV$	4,2474	5,3308	2,367	5,2763
<i>Moina sp.</i>	$(0,33 ab^2 + 0,33 LI^2) + 10\% BV$	0	0	0	10,3482
<i>Macrothrix sp.</i>	$(0,33 ab^2 + 0,33 LI^2) + 10\% BV$	0	0	0	2,7423
<i>Tropocyclops confinis</i>	$(0,26 ab^2 + 0,26 LI^2) + 10\% BV$	0	0	0	1,9695
<i>Thermocyclops sp.</i>	$(0,26 ab^2 + 0,26 LI^2) + 10\% BV$	0	0	0	8,6097
<i>Mesocyclops salinus</i>	$(0,26 ab^2 + 0,26 LI^2) + 10\% BV$	13,5488	3,6997	11,6394	3,3457
Larve nauplius	$0,26 ab^2 + 5\% BV$	0,0675	0,3995	0,0773	0,2645
Copépodites	$0,26 ab^2 + 5\% BV$	0	0	0,3882	0,5577



# Influence of the Quality of Maintenance of Fish Ponds on the Biomass of Zooplankton *in situ* in Tropical Zone (Yaoundé-Cameroon-Central Africa)

Jeannette Prudence Dakwen, Serge Hubert Zebaze Togouet\*, Sylvie Belengfe Chinche, Olive Vivien Noah Ewoti, Mireille Kapso Tchouankep, Thomas Njine

Department of Animal Biology and Physiology, Faculty of Science, University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

## Email address:

zebbasehu@yahoo.fr (S. H. Z. Togouet)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Jeannette Prudence Dakwen, Serge Hubert Zebaze Togouet, Sylvie Belengfe Chinche, Olive Vivien Noah Ewoti, Mireille Kapso Tchouankep, Thomas Njine. Influence of the Quality of Maintenance of Fish Ponds on the Biomass of Zooplankton *in situ* in Tropical Zone (Yaoundé-Cameroon-Central Africa). *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*. Vol. 4, No. 3, 2019, pp. 62-72. doi: 10.11648/j.ijnrem.20190403.11

Received: April 30, 2019; Accepted: June 12, 2019; Published: June 26, 2019

---

**Abstract:** A comparative study of the biomass of zooplankton of four semi-intensive fish ponds found in the ecological area of Yaoundé in Cameroon was sampled for 9 months, which made it possible to evaluate the influence of the maintenance quality of the water bodies on their productivity. There were three ponds E1, E2, and E3 fertilized with organic and mineral matter, sampled from March to November 2012 on the one hand and on the other hand an experimental pond ET serving as a control, which was sampled from March to November 2014. ET was fertilized with mineral and organic matter and received particular attention during the first three months of breeding. The breeding method recommended in these ponds was the polyculture of *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus*. The samples were collected twice a month at 20 cm depth. Physico-chemical and biological analyses were measured using appropriate techniques. Zooplankton biomass remained very high in ET relative to E1, E2 and E3 (90% vs. 10%), creating an uneven profile in all water bodies. Minimum biomass values were 119 mg C / L in E1, 200 mg C / L in E2, 40 mg C / L in E3 and 781 mg C / L in ET; the maximum values being 748 mg C / L, 2643 mg C / L, 474 mg C / L and 67010 mg C / L in E1, E2, E3 and ET respectively. The largest contributors to this biomass were rotifers followed by Cladocerans in ET and E2 and Copepods followed by rotifers in E1 and E3. Food resources were thus limited in these last two water bodies compared to others. Abiotic and biological analyses indicate that these water bodies were oligomesotrophic (E1 and E3), mesotrophic (E2) and eutrophic (ET). ET under these conditions enabled the production of a satisfactory fish yield. It is therefore recommended that, fish farmers should improve the quality of maintenance of fish ponds which together with good fertilization will generate maximum productivity.

**Keywords:** Semi-intensive Fish Pond, Biomass, Zooplankton, Quality of Maintenance

---

## 1. Introduction

Zooplanktons are an important component in the structuring and functioning of pond ecosystems [1]. Through their browsing mode, these organisms form an essential trophic link between primary producers and higher trophic level organisms [2]. The rate of transfer of primary lake products by zooplankton to fish fry can be more than 60% the amount of energy transferred which is depended on the weight of the organisms consumed [3]. Zooplankton is thus,

the most important source of protein to fries, planktivorous and omnivorous fish [4-5]. In addition, these organisms are sensitive to variations to environmental conditions and are excellent indicators of pollution [6]. These organisms therefore occupy a prominent place in the ecology of fish ponds; moreover, it has been shown that Agricultural Exploitation by Families (AEF) must take into account fish farming to maximize their yield [7-8]. Also, the development

of fish farming would not only cover huge animal protein needs but would also reduce the massive outflow of foreign exchange [9]. However, Cameroon like several middle-income countries, has been working with FAO for more than 15 years to develop the "fish farming industry" which aims in the fight against poverty, and to close the deficit in animal protein [10]. The numerous recorded failures led to a questioning on the piscicultural practice and to seek ways and means to increase the yields [11-13]. Knowledge of the biomass of zooplanktons in small water points is needed to develop an effective management strategy for these environments [14-17]. Despite these works, information on the use of zooplanktonic biomass for assessing the impact for maintenance quality on productivity of fish ponds has rarely been elucidated and data concerning these aspects are scarce.

This present work examines the biomass of the

zooplankton community (Rotifers, Cladocerans and Copepods) in four fish ponds including three peasant ponds (E1, E2 and E3) and an experimental pond (ET), located in Ekoumdoum - Yaounde; in relation to some physicochemical variables of the environment as well as the impact of the quality of maintenance accorded to the water body by these parameters.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Study Site

The study area is located at Yaoundé 4 subdivision between latitudes 3°48'45 " and 3°49'15"N and longitudes 11°31'45 " and 11°32'10"E (figure 1).

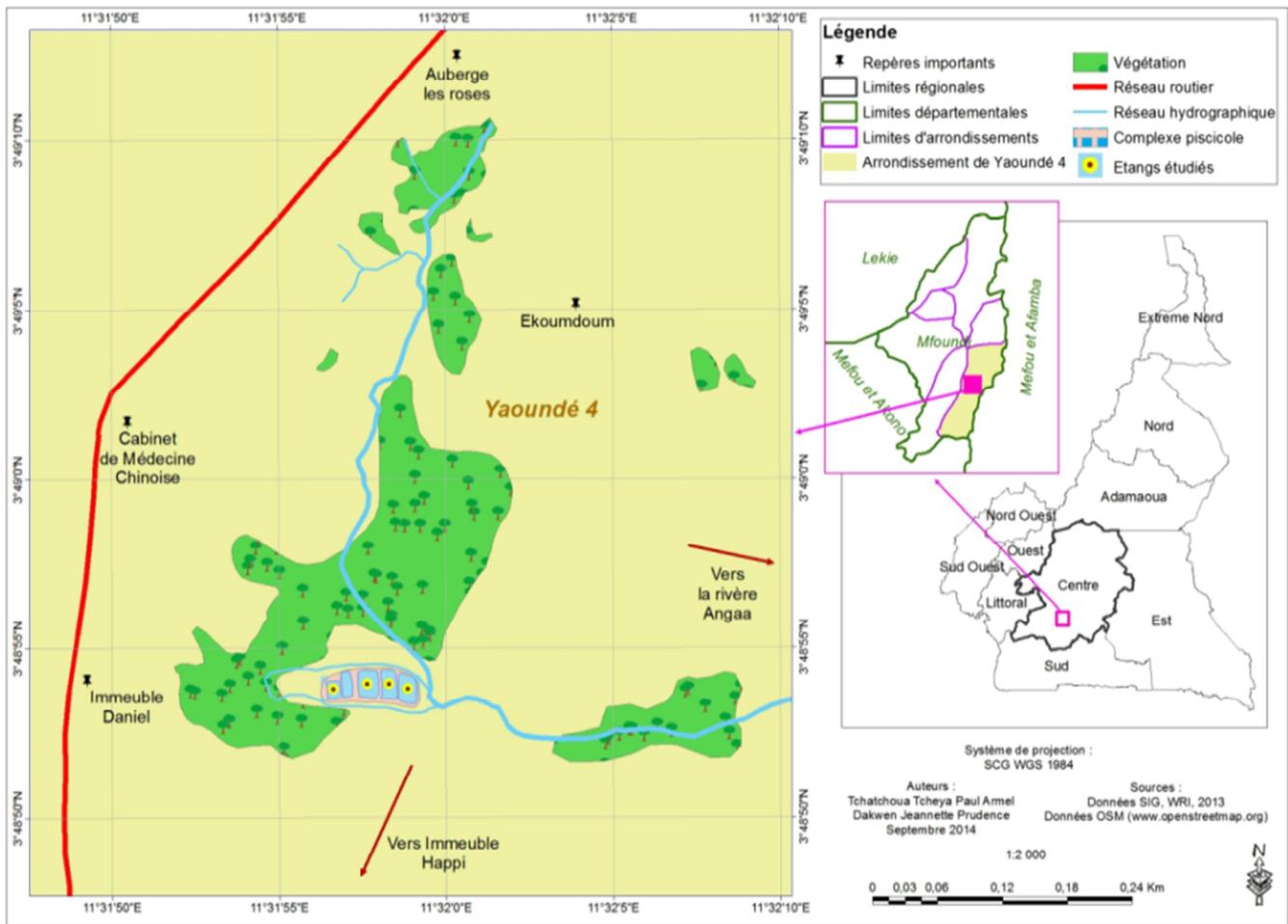


Figure 1. Study site map.

### 2.2. Sampling Stations (Fish Pond)

The quality of maintenance of fish ponds include; stock, fertilization, monitoring during the breeding cycle/daily routine control (penetration of light into the water, behavior of fish in the early morning, state of the pond banks and channels of supply/discharge of water, control of hardness) so as to rapidly intervene in case of problems [18]. The sampled water bodies were selected in a private fish farm

called G.I.C. AGROELEVEUR. This farm presents two categories of ponds:

- Ponds E1, E2 and E3 called "peasant-ponds" measured less than 500 m<sup>2</sup> and about 70 cm deep which were maintained by the head staff of G.I.C. who sometimes use his family members as manpower (wife, sister-in-law and two children). Pond E1 has three intra-pond organic fertilizer made from elephant grass *Pennisetum purpureum*

supplemented with pig manure. Pond E2 has a pigsty built on stilts, containing four pigs of about 60 kg each fed daily with 40 liters of slurry. Pond E3 has three intra-pond composts and is fertilized with droppings from "broilers". Each of these water bodies received fingerling at a ratio of 2 tilapia and 2 catfish per m<sup>2</sup>. The farmer ensures the routine control and intervenes in case of problem when the needed.

-The experimental pond ET, which is 98 m<sup>2</sup> by 80 cm deep at the level of the monk is surrounded by a fence protecting it against unwanted animals and has a pigsty built on piles containing a pig of about 80 kg. It was stocked with 1 *Oreochromis niloticus* and 2 *Clarias gariepinus*. The fish farmer ensures daily routine control (penetration of light into the water, behaviour of fish in the early morning, state of the banks and channels of supply and discharge of water, control of water hardness) and intervenes quickly in case of problems.

### 2.3. Data Collection

The key ecological attributes that were used to assess the impact of maintenance on the ponds on zooplankton biomass were abiotic and biotic (biomass variation) factors [18]. For the abiotic factors, the indicators considered were temperature, water transparency, pH, calcium hardness (Ca<sup>++</sup>), alkalinity, dissolved Oxygen (O<sub>2</sub>), Suspended Solid (SS), turbidity, ammonium ions (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) [19]. Collection of samples to measure these indicators was performed using 1000 cc polyethylene bottles in 1 m x 1 m quadrats randomly selected at 20 cm depth from the monk twice a week [18-19]. The measurement of these indicators was done *in situ* and in the laboratory according to standard techniques [18].

Sampling for the monitoring of zooplankton biomass was carried out following the same step and following the protocol recommended by these studies [17-18]. Indeed, the biological samples were collected by filtration of 50 liters of water through a sieve of 64 µm mesh size. The organisms collected were kept in 200 cc of water from the milieu. A first half (100 cc) of this subsample was fixed by adding formalin up to 5% for identification, counting and measurements while the second half (100 cc) was used for observation of living organisms [14, 20].

The faunistic study was carried out using a binocular stereo microscope of the mark WILD M5 and the OLYMPUS CK2 UL WCD 0.30 microscope for identification, counting and measurements of Rotifer, Cladocera and Copepod species. The identification was carried out using identification keys of [17, 21, 22] for Rotifers; [17, 22, 23] for Copepods and Cladocera. Counting was done by duplicate counting in 30 mm diameter Petri dishes crisscrossed into small 3 mm squares [24]. At least 100 individuals was counted each time per sample or the count

continues until the sample was exhausted. The density of the individuals in the sample was calculated using the following formula:

$$D = \frac{v}{v' \cdot V} \times n \text{ expressed in ind. / L} \quad (1)$$

With:  $v$  = total volume of the subsample;  $v'$  = volume of the subsample fraction poured into the Petri dish for counting;  $V$  = volume of filtered water in the field;  $n$  = number of individuals contained in  $v'$ .

Bio volumes obtained by measurement [25] are multiplied by the density of each species and converted into biomass [26] using the following formula:

$$10^6 \mu\text{m}^3 \text{ L}^{-1} = 1 \mu\text{gC L}^{-1}. \quad (2)$$

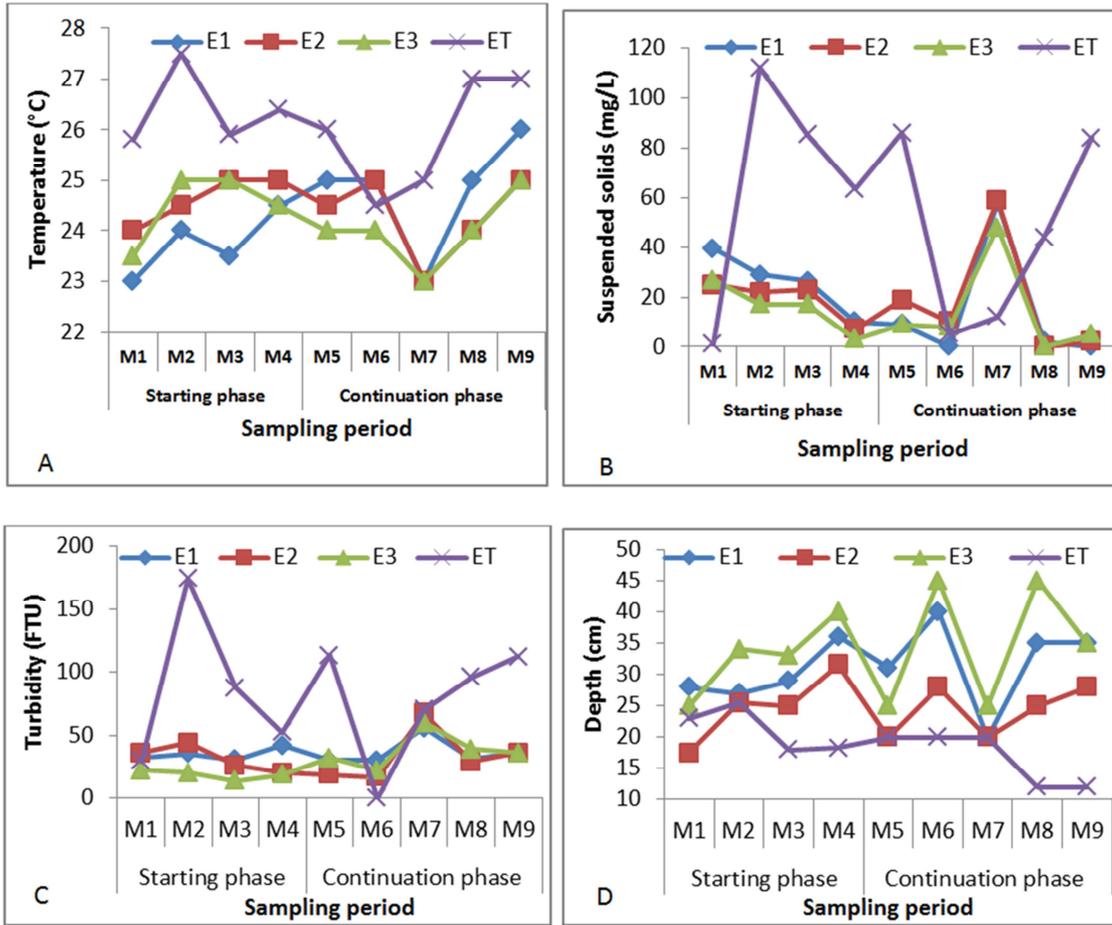
### 2.4. Data Analysis

The rank correlation of Spearman made it possible to evaluate within the same water body, the level of dependence between physicochemical variables and between biological and physico-chemical variables. To highlight the influence of the quality of maintenance performed by the farmer on the physicochemical parameters on water and on zooplankton biomass, Kruskal Wallis analysis followed by the Mann Whitney test were used to compare the fish pond data.

## 3. Results

### 3.1. Abiotic Factors

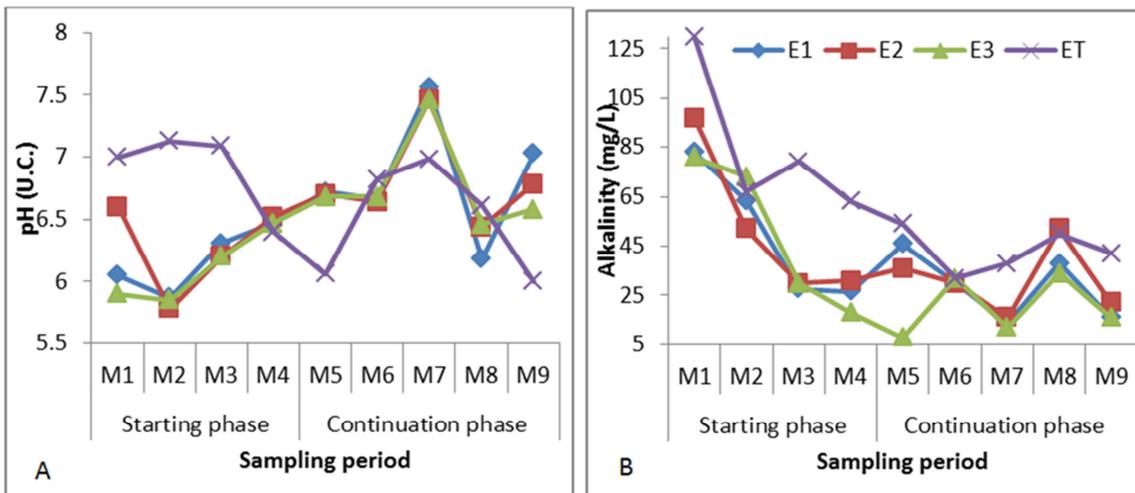
Figures 2 and 3 show the spatio-temporal variation of the physicochemical parameters in the four ponds. The average temperature of pond water generally remained very stable around 25°C during the complete cycle of breeding (between 23°C and 26 °C for E1, 23°C and 25 °C for E2, 24.5°C and 27.5°C for E3 and 20°C and 40°C for ET), E3 being the coldest pond and ET being the hottest pond (figure 2A). The values of Suspended Solids (SS) varied little in E1 and E2 which an average of 18.5 mg/L and 14.8 mg/L respectively. These values varied from 0 to 48 mg/L in E3 and 1 to 112 mg/L in ET. The values of SS obtained in E3 pond and ET showed significant variations ( $P < 0.05$ ), with ET richer in SS (figure 2B). Turbidity oscillated between 30 and 56 FTU in E1, 17 and 67 FTU in E2, 14 and 60 FTU in E3 and 0 and 174 FTU in ET; this last pond was more turbid, most of the time (figure 2C). The depth of disappearance of the Secchi disc varied significantly in the various ponds during this study ( $P < 0,05$ ); extreme values were 17,5 and 31,5 cm for E1, 25 and 45 cm for E3, 12 and 25,5 cm for E2 and ET. The last pond was the least transparent pond (figure 2D).

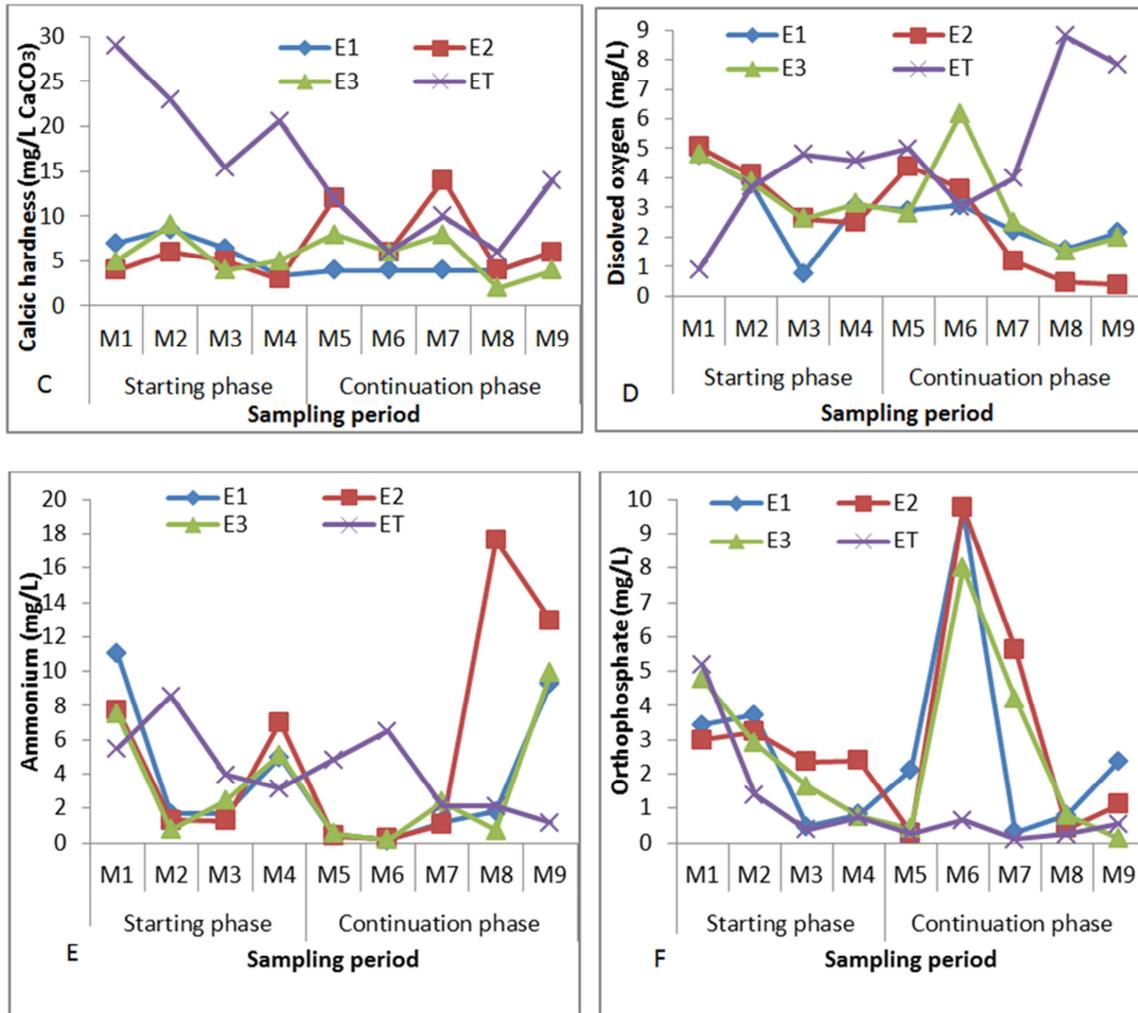


**Figure 2.** Spatio-temporal variation of physical variables: temperature (A), Suspended Solids (B), Turbidity (C) and Transparency (D) during the work period with E1 = Pond E1, E2 = pond E2, E3 = pond E3, ET = pond ET and M = month.

Water of the studied ponds was slightly acidic except during the first three months of breeding in ET where water remained basic. The average values of pH was 6.5 CU for ponds E1 and E2; 6.4 CU for pond E3 and 6.7 CU for pond ET with a peak pH of 7.5 CU was obtained in the peasant ponds during the seventh month of breeding (figure 3A). The average values of total alkalinity was 38.3 mg/L, 40.6 mg/L, 33.7 mg/L and 61.7 mg/L respectively in ponds E1, E2, E3 and ET. The experimental pond showed values higher

than 60 mg/L during the four first months of breeding (figure 3B). The average values of calcic hardness were 5.2 mg/L, 6.6 mg/L, 5.6 mg/L and 15.11 mg/L respectively in E1, E2, E3 and ET. However, during the first four months of breeding, the values remained very high (higher than 15 mg/L) in ET compared to those of the peasant ponds. As from the fifth month to the end of the breeding cycle, calcic hardness remained low in all the studied ponds (figure 3C).





**Figure 3.** Spatio-temporal variation of chemical variables: pH (A), Total alkalinity (B) Calcic hardness (C), Dissolved oxygen (D), Ammonium (E) and Orthophosphate (F) during the work period with E1 = Pond E1, E2 = pond E2, E3 = pond E3, ET = pond ET and M = month.

Dissolved oxygen (figure 3D) varied very little in the various ponds during the study period, the average values remained lower than 4 mg/L in the peasant ponds (2.7 mg/L in E1 and E2, 3.2 mg/l in E3) contrary to ET with an average of 4.7 mg/L. Ammonium contents (figure 3 E) of the studied ponds were in most cases high (higher than 2 mg/L) and underwent abrupt variations during the first three months of breeding, especially in the experimental pond (ET). The average values remained between 3.4 mg/L (E3) and 8.5 mg/L (ET). For orthophosphate (figure 3 F), its contents in water was generally higher than 2 mg/L in the peasant ponds with a remarkable peak in the sixth month of breeding (approximately 9 mg/L), contrary to ET where the contents are lower than 2 mg/L except for the value of 5.17 mg/L recorded in the first month of breeding.

The Spearman correlation tests realized on all the data of each pond showed several interferences. In E1, strong negative correlations ( $p < 0.01$ ) between temperature and SS, SS and transparency and positive correlations ( $p < 0.05$ ) between alkalinity and pH were recorded. In pond E2 the complete cycle of breeding recorded 4 correlations; A negative correlation at  $p < 0.01$  between pH and calcic

hardness, positive correlations at  $p < 0.05$  between transparency and temperature, pH and calcic hardness and oxygen and SS. In E3, there was a strong negative correlation ( $p < 0.01$ ) between transparency and SS and a strong positive correlation between pH and alkalinity ( $p < 0.01$ ). As for ET, 5 correlations were recorded. They are, negative correlations ( $p < 0.05$ ) between transparency and temperature, transparency and SS, total alkalinity and calcic hardness, and positive correlations at  $p < 0.05$  between SS and dissolved oxygen and calcic hardness and pH.

### 3.2. Biological Factors

#### 3.2.1. Specific Richness and Abundance

Sixty one (61) zooplankton species were collected during this study. The total number of rotifer species was 51 belonging to 16 families. The most represented families were those of Brachionidae with 13 species followed by those of Philodinidae with 4 species. The families of Mytilinidae, Hexarthriidae and Euchlanidae were represented by only one species each. However, the most frequent species (figure 4) with more than 70% were *Brachionus angularis*, *Polyarthra*

*vulgaris*, *Rotaria rotaria*, *Asplanchna brightwelli* and *Brachionus calyciflorus* in all the ponds. There was an addition of *Anuraeopsis fissa* for E1, *Epiphanes macrourous* for E2 and ET, *Brachionus quadridentatus* for E3 and *Filinia longiseta* for ET. With regards to Cladocera, except for

Moinidae, 4 families represented by one specie were collected and among those, the frequent species with more than 70% were *Diaphanosoma volzi* in E2 and *Moina micrura* in E1, E2 and ET.

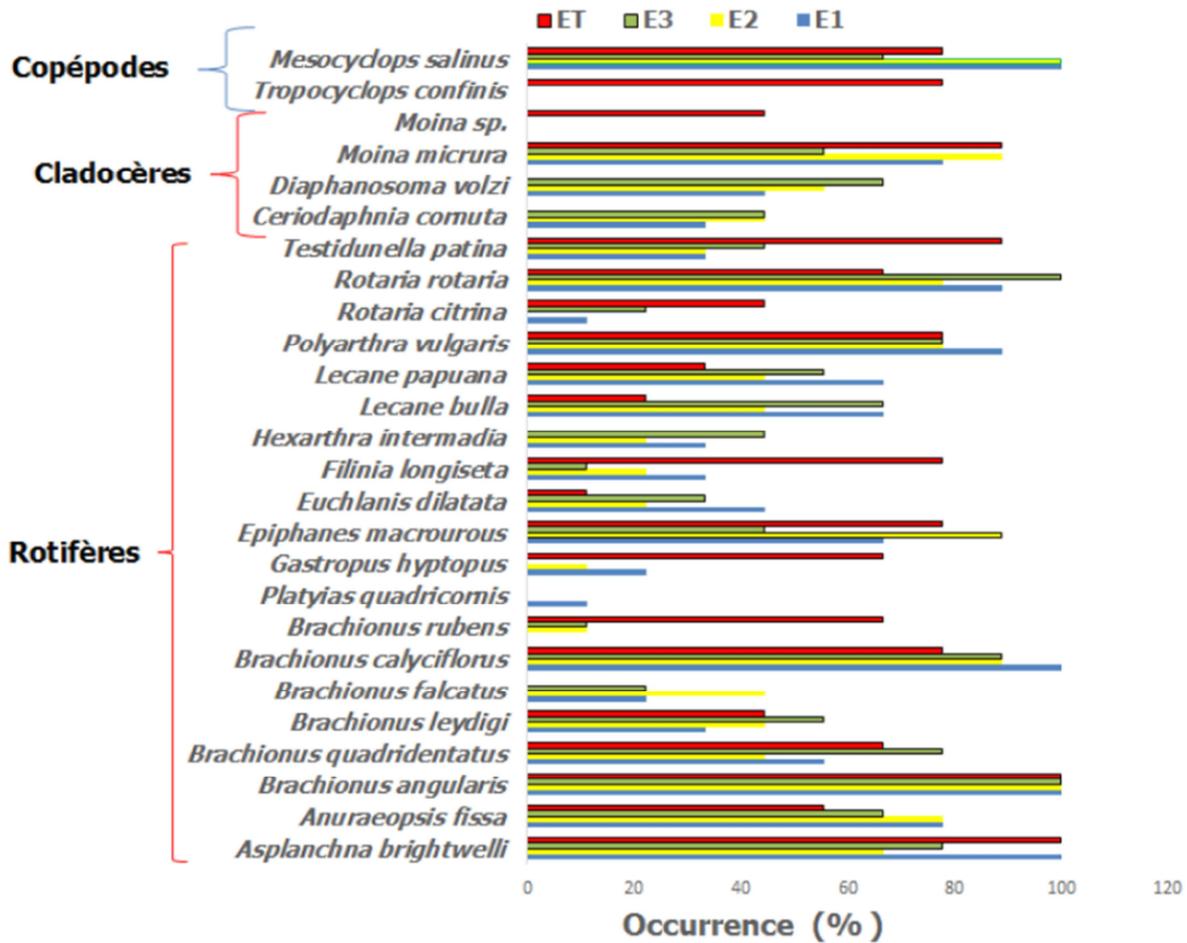


Figure 4. Diagram showing the most frequent species collected in the ponds (at least 40% of occurrence in at least one pond).

Concerning Copepods, there were 4 species of the family of Cyclopoida. Among them, only 2 species showed at least 40% of occurrence and *Mesocyclops salinus* showed a rate of occurrence of more than 70% in E1, E2 and ET. The Nauplius larvae were collected with more than 70% in each pond.

A total of 22514 individuals were counted during all the breeding cycle with an average representativeness of 65% for the experimental pond (ET), 16% for pond E2, 11% for pond E1 and only 8% for pond E3 (figure 5A). With regards to the spatial contribution of zooplanktonic taxa, (figure 5B) with the total abundance described above, rotifers were most contributive in all the ponds, with at least 67% (1268 ind./L in E3) of abundance, the least contributive taxon was Copepoda with at most 9% (282 ind./L in E2) in the peasant ponds and 2% (362 ind./L) in ET. In other words, the abundance of the zooplankton recorded in ET was largely higher than that collected in all the three country ponds.

The spatio-temporal variation profiles (figure 5C) of the total abundance of zooplankton showed a saw teeth form in pond ET and E2. Contrary observations were made in ponds

E1 and E3 where the abundance profiles were linear and almost constant. Indeed, ET presented peaks at the first month of breeding (nearly 2500 ind./L) in the third month (nearly 2000 ind./L), in the fifth month (nearly 3000 ind./L) and in the seventh month (more than 2000 ind./L). Pond E2 also showed slight peaks in the first month (836 ind./L) and during the third month of breeding (average 500 ind./L). However, during the study, the minimum values of abundances were 149 ind./L in E1, 190 ind./L in E2, 82 ind./L in E3 and 242 ind./L in ET; maximum values being 553 ind./L, 836 ind./L, 298 ind./L and 2913 ind./L respectively in E1, E2, E3 and ET. It should be noted that rotifers were dominant on the spatiotemporal level.

Comparison test showed high significant difference ( $p < 0,001$ ) of abundances between E1 and ET, between E3 and ET, where the difference is due to rotifers and Cladocerans. In the same way, a significant difference ( $P < 0.05$ ) of total abundance between E2 and E3, E2 and ET. This difference was mainly due to rotifers.

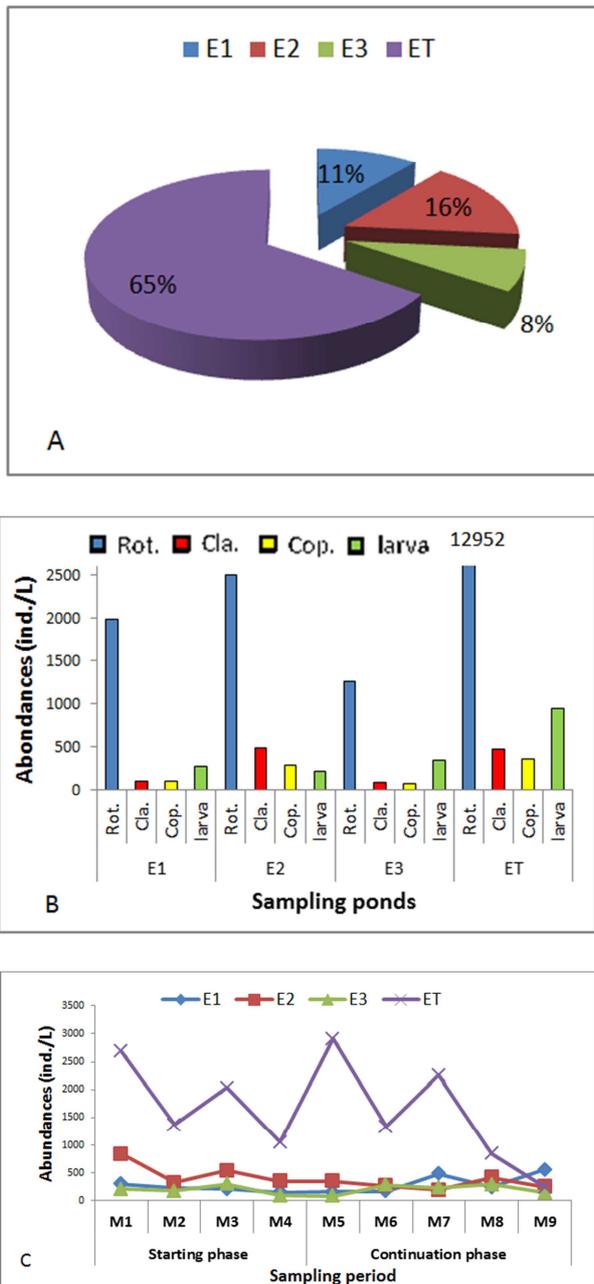


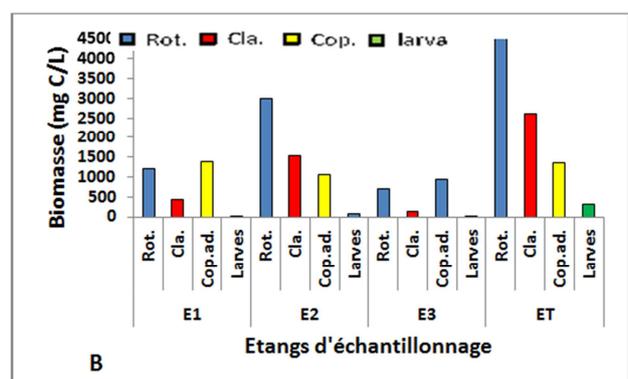
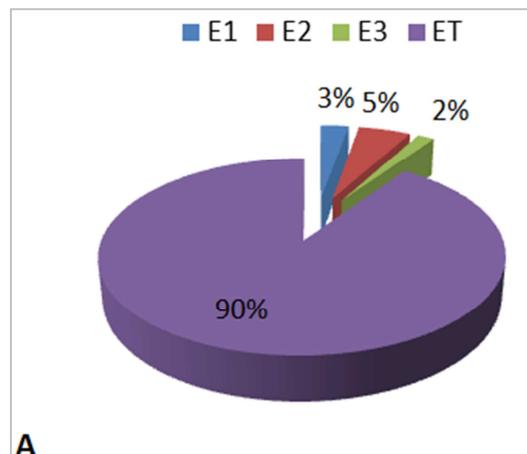
Figure 5. Spatial repartition of the total zooplankton abundances registered during the complete cycle of breeding (A), spatial distribution (B) spatio-temporal distribution (C) of abundances, with E1 = Pond E1, E2 = pond E2, E3 = pond E3, ET = pond ET and M = month.

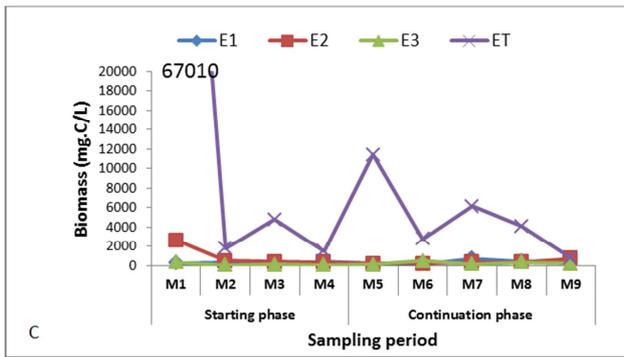
### 3.2.2. Zooplankton Biomass

Zooplankton organisms collected in this study were high in pond ET for rotifers and very small for copepods (*Mesocyclops salinus* for example) compared to organisms in the peasant ponds. For the total biomass (110867.4 mg C / L) of organisms collected during the complete breeding cycle, Figure 6A reveals that only 10% of this biomass was collected in all peasant ponds. Regarding the spatial contribution of zooplankton taxa (Figure 6 B) to the total biomass described above, rotifers dominated only in E2 (52.7%) and in ET (95.7%), copepods being the largest contributors in E1 (45.5%) and E3 (51.8%). For micro

crustaceans, Copepods contributed more in the biomass than Cladocerans in E1 (45.5% vs. 14%) and E3 (51.8% vs. 7.9%), whereas the opposite is observed in E2 (18, 4% vs. 27.1%) and ET (1.3% vs. 2.5%). The spatiotemporal variation profile of the total zooplankton biomass is saw-toothed like in pond ET, which exhibits biomass peaks during the first month of rearing (near 67010 mg C / L), in the third month (4768 mg C / L), and in the fifth month (11420 mg C / L). With an exception of the first month of rearing (2643 mg C / L) in pond E2, the biomass profiles are linear and almost constant, no biomass value exceeding 1000 mg C / L (Figure 6C) was obtained. However, during the complete rearing cycle, the minimum biomass values were 119 mg C / L (third month) in E1, 200 mg C / L (sixth month) in E2, 40 mg C / L (second month) in E3 and 781 mg C / L (nine th month) in ET; the maximum values being 748 mg C / L, 2643 mg C / L, 474 mg C / L and 67010 mg C / L respectively in E1, E2, E3 and ET.

The overall abundance and biomass recorded during this study shows that Rotifers are the most numerous compared to other zooplankton taxa studied, but contribute very strongly to zooplankton biomass only in ponds E2 and ET where they are assisted by Cladocerans. However, in E1 and E3, Copepods were seconded by rotifers which contribute more to the biomass than Cladocerans although these taxa have similar abundances in the said waterbodies. However, the comparison tests show that there is no significant difference in biomass between E3 and E1 and that the difference in biomass between E2 and ET is significant ( $p < 0.05$ ) only for copepod larvae.





**Figure 6.** Spatial repartition of total zooplanktonic biomass registered during the complete breeding cycle (A), spatial distribution (B) and spatiotemporal distribution (C) of the biomasses, with E1 = Pond E1, E2 = pond E2, E3 = pond E3, ET = pond ET and M = month.

## 4. Discussion

During the complete cycle, the temperature ranged between 23-26°C for the peasant ponds and 24.5-27.5°C for ET. These values were close to those recorded in the Yaounde Municipal Lake [27], and in the Simbock-Yaounde fish ponds [14, 20]. They are typical of small shallow tropical lakes such as Lake George in Uganda [28]. These temperature values are favorable for the optimal growth of fish and especially for the growth of tilapia and catfish [29-30]. Mean turbidity and SS values observed in ponds were generally low. In pond ET they remained above 86 FTU and 54 mg / L. The Secchi disk transparency was high. It means that the peasant ponds were poorer in nutrients than pond ET [14, 29]. Regardless of the water body, an overall positive correlation between values of turbidity and SS were obtained. Negative correlations between these same parameters and transparency were also noted. In fact, in normally functioning fish ponds, turbidity, color and SS are positively correlated and each of these parameters were negatively correlated with transparency [31]. Suspended particles limit the penetration of light into water which reduces transparency. Water is good for fish farming when the SS are less than or equal to 30 mg / L and the transparency is between 15 and 30 cm [29, 31]. The values of SS and transparency observed in the peasant ponds were similar to those described in a pond fertilized with organic matter in the same region in Cameroon [20].

Indeed, this breeding cycle was disturbed by torrential rains causing a complete mixing of the pond water and the prolonged trampling of the bottom of the basin by pigs that escaped from the neighboring piggery [32-33]. Added to these environmental stresses, is the shallow depth of the water that constantly caused mixing and finally an increase in the behavior of fish during the search for food (the case of tilapia that digs the mud to sort out its preferential foods) [34].

Among the peasant ponds, O<sub>2</sub> value was higher in E3, due to photosynthetic activity of macrophytes which invaded the bottom of this pond as early as the second month and remained there until the 6<sup>th</sup> breeding month. The multiple environmental stresses that have occurred in the fish farm during the breeding cycle coupled with the lack of rapid intervention on the part of

the farmer would be the cause of the lethal doses of oxygen recorded some times in the ponds [35-36]. This was the case of E1 where the combined action of torrential rains and slow degradation of the fertilizer used (*Pennisetum purpureum*) lead to the very low availability of mineral elements that could cause photosynthesis and the momentary and unquantified spill of pig manure on the 7<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup> months of breeding. These rains did not only direct the stream feeding the ponds towards E3 but they degraded the bank between E2 and E3. This caused the spill of E3 waters into those of E2 without control. However, the fish farmer was only able to completely rectify this disorder at the twelfth week of breeding. This period was therefore marked by leaching of the bottom waters of ponds E3 and E2 and a strong reduction of the algae that colonized the environment [33].

Generally, calcium hardness levels were relatively low in all ponds compared to fish standards (> 30mg / L CaCO<sub>3</sub>) [37]. These low values could be justified by the absence of calcareous soil in the study area. The high values obtained in ET compared to the peasant ponds were due to the inflow of quicklime received by this water body during breeding to enhance organic fertilization. The calcium hardness values recorded in ET are favorable to the development of fish. The average levels of total alkalinity obtained were generally within the range (47-100 mg/L of CaCO<sub>3</sub>) in fish ponds [31]. Peasant ponds ranged from 33 mg / L CaCO<sub>3</sub> to 46.7 mg/L CaCO<sub>3</sub> but remained above the 20 mg/L CaCO<sub>3</sub> value acceptable for fish production under conditions of pH greater than or equal to 6.5 [37]. Values of alkalinity less than 20 mg/L of CaCO<sub>3</sub> recorded from the tenth week of breeding during start-up in ponds could be justified by the incomplete dissolution of CO<sub>2</sub> in water [32, 38].

Regardless of the water body, the pH values remained within the range (5-9) which fish can tolerate [37, 39]. However, the waters of pond ET were mostly basic and favorable to the growth and health of cultured fish; those of the peasant ponds were the most acidic with low values (< 6.5) recorded throughout the three first months. Indeed, significant differences in calcium hardness, alkalinity and pH were recorded during start-up between the peasant ponds and pond ET. Such acidic pH in low alkaline water (<20 mg/L) is harmful for fish. In high concentrations (> 1 mg/L) ammonia is toxic to consumers including fish. In addition, the toxicity threshold for this element varies with pH and begins to be critical for fish when the pH is greater than 8 [31].

The availability of nitrogen and phosphorus in the water column for photosynthetic processes is a function of the total alkalinity of the water [29]. Below a certain threshold (< 20 mg/L CaCO<sub>3</sub>), nitrogen fixation by sediment microorganisms, high concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> as well as phosphorus precipitation are favored to the detriment of photosynthesis [20, 38]. Positive correlations were recorded between alkalinity and orthophosphate in the peasant ponds during the start-up. Values of alkalinity lower than 20 mg / L of CaCO<sub>3</sub> recorded in ponds are not only unfavorable to the nutrition of tilapias and catfish [37] but are also favorable to the fixation of nitrogen by microorganisms in sediment, the

precipitation of phosphorus, all this to the detriment of photosynthesis [28].

In terms of the physicochemical parameters analysis and the interactions between these parameters, the conditions that were unfavorable to the growth of tilapias and catfish were most frequent in E3, followed by E1 and finally E2. The Spearman correlation test revealed that pond ET had the greatest number of correlations between physicochemical parameters and was associated with the highest values of productivity parameters namely calcic hardness, alkalinity, temperature, pH, oxygen and MES. This confirms that the follow-up granted to this pond at the beginning which favored the abiotic equilibrium allowing good nutrition of zooplankton and the fish as well as providing an acceptable functioning of this medium during all the breeding period. It results from these analysis that the different values of the main physicochemical parameter found in the studied water bodies were characteristics of a mesotrophic (E1 and E2), eutrophic (ET) and oligo-mesotrophic (E3) media as classified by [40]. Such variations in physico-chemistry affect the composition of zooplankton in fish ponds.

Concerning the biological aspect, Rotifers were the most abundant in all the ponds due to unstable environmental conditions in water which lead to their rapid reproduction. In fact, reproduction of rotifers is sexual and growth is a function of the quality and quantity of food and temperature [15, 16, 20, 41]. However, the low abundance of rotifer recorded in E3 during the study period is justified by the combined effect of predation exerted by tilapia fingerlings and the carnivorous copepod *Mesocyclops salinus* which grows and reproduces easily in low nutrient milieu. In addition, *Mesocyclops salinus* is a potential predator of rotifers and small Cladocerans, it regularly occupies the same ecological niche as fish fry with which it competes for food [14].

This high abundance coupled with the high biomass found in ET is justified by the fact that the zooplankton of this pond would have been fed by browsing the algae preferentially, the physicochemical conditions of the medium (pH > 6, alkalinity > 47mg CaCO<sub>3</sub> / L, temperature > 25°C) were favorable to photosynthetic activity and also to zooplankton growth and reproduction [31, 42]. On the other hand, the very low abundances and biomass recorded in E3 were justified by the effect of competition for nutrients between macrophytes and phytoplankton that invaded the bottom of this pond, coupled with the slowdown of nutrition in zooplankton following the acidity of the water and the various environmental stresses suffered by this pond.

The alternation of numerical dominance observed in E1 and E3 between adult Copepods and Cladocerans further explains the effect of low fertilization to the water body. Thus the dominance of Copepods over Cladocerans observed throughout this study in E1 and E3 is supported by other works which point out that not only are Copepods able to escape predation, but also they have the k-type strategy: have a strong ability to grow and reproduce compared to daphniids in environments with limited food

resources [14, 20, 43]. Also, a disturbance in the environment can cause profound changes in the structure of the population. These upheavals can be manifested by a change in the relative dominance of the species, by faunistic and floristic substitutions, and even by the complete disappearance of an element or all the biocoenosis if the disturbance is too strong [20, 44].

With regards to the spatio-temporal contribution of different taxa of zooplankton to the biomass recorded during the study, it is variable and this variability is a function in each water body, of the environmental stresses (rain that the water body undergoes and the quality of intervention that the farmer brings to the water when the need arises. It appears that the rapid intervention by the farmer in pond ET when need arises, where necessary to improve the physicochemical conditions of the environment, which in turn were favorable to the nutrition and reproduction of these species.

## 5. Conclusion

This work shows that in addition to the natural enrichment due to the contributions of the watershed, when a pond undergoes an acceptable fertilization, whether organic or mineral, it must follow a rigorous daily control within the first three months of breeding by the farmer to induce a variation in species richness, zooplankton abundance and therefore a variation in zooplankton biomass. We can therefore suggest the hypothesis that a good fertilization of the fish pond coupled with a routine control that ensures the maintenance of physicochemical parameters in the fish standards, greatly improve the productivity of the pond. In addition, researchers should be very vigilant when dealing with piscicultural ponds in order to better include/understand the ecology of this particular type of ecosystem; and to reduce the expenditure by always associating to each pond, the breeding of domestic animals (most effective within the framework of this work being the breeding of pigs) that must be installed on the bank of the pond and the cleaning of the water channel. However, the associated animals must be suitably nourished, the zoo technical standards should envisage a ration day for the labourer at least 6% of the net weight of the animal.

## References

- [1] Dussart B. H., 1986. Limnologie. Ed. Gauthiers Villars, Paris.
- [2] Lair N., Reyes-Marchant P. & Jacquet V., 1998. Développement du phytoplankton, des ciliés et des rotifers sur deux sites de la Loire moyenne (France) en période d'étiage. *Annls. Limnol.*, 34, 35-48.
- [3] Haberman J., 1998. Zooplankton of lake Vörtsjärv. *Annls. Limnol.*, 28, 49-65.
- [4] Piasecki W., Goodurin A. E., Eiras J. C. & Nowak B. F., 2004. Importance of Copepoda in Freshwater Aquaculture. *Zoological Studies*, 43, 193- 205.

- [5] Amoros C., 1984. Crustacés cladocères. In: Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises 5, Bull. Mens. Soc. Lin. Lyon, 3, 53-63.
- [6] Zébazé Togouet S. H., Njiné T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Niyitegeka D., Ngassam P. et Boutin C., 2006. Composition et distribution spatio-temporelle des protozoaires ciliés dans un petit lac hypereutrophe du Cameroun (Afrique Centrale). Rev. Sci. Eau, 19: 151-162.
- [7] FAREC, 2019. (Fédération Aquacole de la Région Centre). La filière pisciculture d'étang de la région Centre Val de Loire au Salon de l'Agriculture, 2019; *La pisciculture: passions et tradition d'avenir*, 4 p.
- [8] Blé M. C., Vanga Adja F., Assi Kaudhjis P. J., Alla Yao L., Efolé Ewoukem T., Kouassi Adjoua F., Coulibaly Kanidana S., Mikolasek O., 2015. Environnement socio-économique des exploitants piscicoles du Centre-Ouest et du Sud-Ouest de la Côte D'Ivoire. F. Tech. & Doc. Vulg.: 12-17- Volume spécial.
- [9] Agadjihouede H., Chikou A., Montchowui E. et Laleye P., 2014. Effet de la densité initiale de mise en charge sur la survie et la croissance des larves d'*Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) élevées en bassins fertilisés. Journal of Applied Biosciences, 84: 1997-5902.
- [10] MINEPIA, 2008. Stratégie pour un développement durable de l'aquaculture au Cameroun. Rapport de séminaire, 4 p.
- [11] FAO, 2016. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture: contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous. Rome 224 p.
- [12] Blé M. C., Assi Kaudhjis P. J., Vanga Adja F., Efolé Ewoukem T., Alla Yao L., Mikolasek O., Amian Atsé F., Kouassi Adjoua F., Coulibaly Kanidana S., Wandan Eboua N., 2015. Pratiques piscicoles dans le Centre-Ouest et le Sud-Ouest de la Côte D'Ivoire. F. Tech. & Doc. Vulg.: 3-11- Volume spécial.
- [13] MAPA (Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation), 2016. Aquaculture, Document d'information spécialisée. Lois et règlements relatifs à l'Aquaculture en eau douce; Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec; 16 p.
- [14] Zébazé Togouet S. H., Dakwen J. P., Foto Membohan S., Banga Medjo M. P., Essomba Biloa R. E. and Njiné T., 2015. Influence d'un enrichissement sommaire sur la biomasse zooplanctonique des étangs piscicoles *in situ* en zone tropicale (Cameroun- Afrique Centrale). European Journal of Scientific Research, 131 (1): 22 – 40.
- [15] Pourriot R., 1968. Rotifères du lac Tchad. Bulletin IFAN. 30, 471-496.
- [16] Green J., 1977. Dwarfing of rotifers in tropical crater lakes. Arch. Hydrobiol. Beich, 8, 232-236.
- [17] Zébazé Togouet S. H., 2000. Biodiversité et dynamique des populations de Zooplancton (Ciliés, Rotifères, Cladocères et Copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun). Thèse Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Yaoundé I, Cameroun, 175p + Annexes.
- [18] Rodier J., Legube B., Merletet N., Brun R., Mialocq J. C., Leroy P., Houssin M., 2009. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. Chimie, physico-chimie, interprétation des résultats. (9<sup>e</sup> édition), Paris, Dunod. 1579 p.
- [19] Besnard A. & Salles J. M., 2010. Suivi scientifique d'espèces animales. Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis. Note méthodologique à l'usage des gestionnaires de sites Natura 2000, Rapport DREAL PACA, Pôle Natura 2000.
- [20] Dakwen J. P., Zébazé Togouet S. H., Tuekam Kayo R. P., Djeufa Heuchim C., Nziéleu Tchapgnoou J. G., Foto Menbohan S., Njiné T., 2015. Physico-chemistry characterization and zooplankton specific diversity of two fishponds in Yaoundé (Cameroon, Central Africa). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 6 (2): 16-30
- [21] Pourriot R., 1980. Rotifères. In: IDT ORSTOM (Eds.), Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne I (pp. 219-244). Paris.
- [22] Fernando C. H., 2002. Introduction in a guide to tropical fresh water zooplankton. Identification ecology and impact on fisheries. Ed. C. H. Fernando, Leiden (Netherlands).
- [23] Dussart B. H. & Defaye D., 1995. Copepoda: Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the Microinvertebrates of the continental waters of the world 7. Ed. H. J. Dumont, S. P. B., Acad. Publ., The Hague.
- [24] Legende L. & Watt W. D., 1972. On a rapid technique for plankton enumeration. Annls. Inst. Oceanogr., XLVIII, 173-177.
- [25] Sime-Ngando T., Hartmann H. J. & Groliere C. A., 1990. Rapid quantification of planktonic ciliates: comparison of improved live counting with other methods. Appl. Environ. Microbiol., 56: 2234-2242.
- [26] Dumont H. J., Van de Velde I. & Dumont S., 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia, 19, 75 – 97.
- [27] Zébazé Togouet S. H., Njiné T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Monkiedje A., Niyitegeka D., Simé-Ngando T. & Jugnia L. B., 2005. Variations spatiales et temporelles de la richesse et de l'abondance des rotifères (Brachionidae et Trichocercidae) et des cladocères dans un petit lac artificiel eutrophe situé en zone tropicale. Rev. Sci. Eau, 18, 485-506.
- [28] Viner A. B., 1969. The chemistry of the water of lake George, Uganda. Verh. Int. Ver. Limnol., 17, 289-296.
- [29] Billard R. et Marie D., 1980. La qualité des eaux de l'étang de pisciculture et son contrôle. In: Billard R. (Ed.), La pisciculture en étang, INRA Publ., Paris (France), Pp 107-127.
- [30] FAO (Food and Agricultural Organisation), 2018. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Atteindre les objectifs du développement durable. Rapport annuel, 28 p.
- [31] Schlumberger O., 2002. Mémento de la pisciculture d'étang, 4<sup>ème</sup> édition. CEMAGREF (Ed), Montpellier (France), 237 p.
- [32] Efolé Ewoukem T., Aubin J., Tomedi Eyango M., Mikolasek O., Corson M. S., Tchoumboué J., Van der Werf H. M. G. et Ombredane D., 2010. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. Proceeding of LCAfood 2010, (1): 375-380
- [33] Mikolasek O., 2003. Forces et faiblesses de la pisciculture de la vallée du Ribeira, Etat de San Paulo, Brésil: une typologie pour éclairer les pratiques des pisciculteurs. Mémoire de DEA INAP-G, Paris (France), 26 p.

- [34] Dabbadie L., Lazard J. et Oswald M., 2002. Pisciculture et élevages non conventionnels: Pisciculture, Mémento de l'Agronome, CIRAD-GRET (Ed), Ministère des Affaires étrangères (France), 2: 1571-1651
- [35] Mikolasek O., et Lazard J., 1999. La pisciculture continentale en milieu tropical. In: actes de colloque: Réalités et perspectives de développement de l'aquaculture dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien – Iles de la Réunion Saint Leu les 31 mai au 3 juin 1999, ARDA – Aquaculture, Pp 32- 41.
- [36] Mikolasek O., Guérin G., Lopez A., Khuyen T. D., Huy P. T., Dien N. T., 2006. Local fish farming practices and a typology of farms based on organic matter intake management. In: Orphyre V., Coi N. Q. (Eds.), Pig Production Development, Animal Waste Management and Environment Protection: A Case Study in Thai Binh Province, Northern Vietnam. PRISE Publications, France, 107–125
- [37] Pouomogne V., 1998. Pisciculture en milieu tropical africain: comment produire du poisson à coût modéré. CEPID/Coopération Française, Yaoundé (Cameroun), Presses Universitaire d' Afrique, 236 p.
- [38] Morin R., 2012. « Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés ». Document d'information DADD-14. Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 25 p. [http:// www. mapaq. gov. qc. Ca/Fr/Peche](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche)
- [39] Tomedi Eyango M., Efolé Ewoukem T., Blé M. C., Ndzana B. E. B., Songmo B. L., Nyamsi Tchatcho N. L., Mikolasek O., Tchoumboungang F., 2015. Rizipisciculture: voie d'intensification écologique des systèmes piscicoles extensifs. F. Tech. & Doc. Vulg.: 18-23- Volume spécial.
- [40] Wurtz W. A. et Durborow R. M., 1982. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds, southern Regional Aquaculture center, U.S., Publication N° 464, 4 p.
- [41] Côté R., Bussièrès D., Desgagnés P., 2019. Spatio-temporal distribution of phytoplankton and zooplankton in Lake Saint-Jean (Quebec), Hydro-electric reservoir; Rev. Sci. Eau, 15 (3): 597-614.
- [42] Ustun F., Bat L., Sahin F., 2019. Composition, abundance and biomass of Mesozooplankton in the South western Black Sea Along the coast of Igneada, Turkey. *Biologia*. DOI: 10.2478/s11756-019-00219-w
- [43] Mac Naugit D. C., 1975. A hypothesis to explain the succession from calanoids to cladocerans during eutrophication. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 19, 724-731
- [44] Tuffery G., 1980. Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes Révélateurs biologiques de la pollution. In: Gauthier-Villars (Ed.), Paris. La pollution des eaux continentales. Incidence sur la biocénose aquatique (Pp. 243-280).